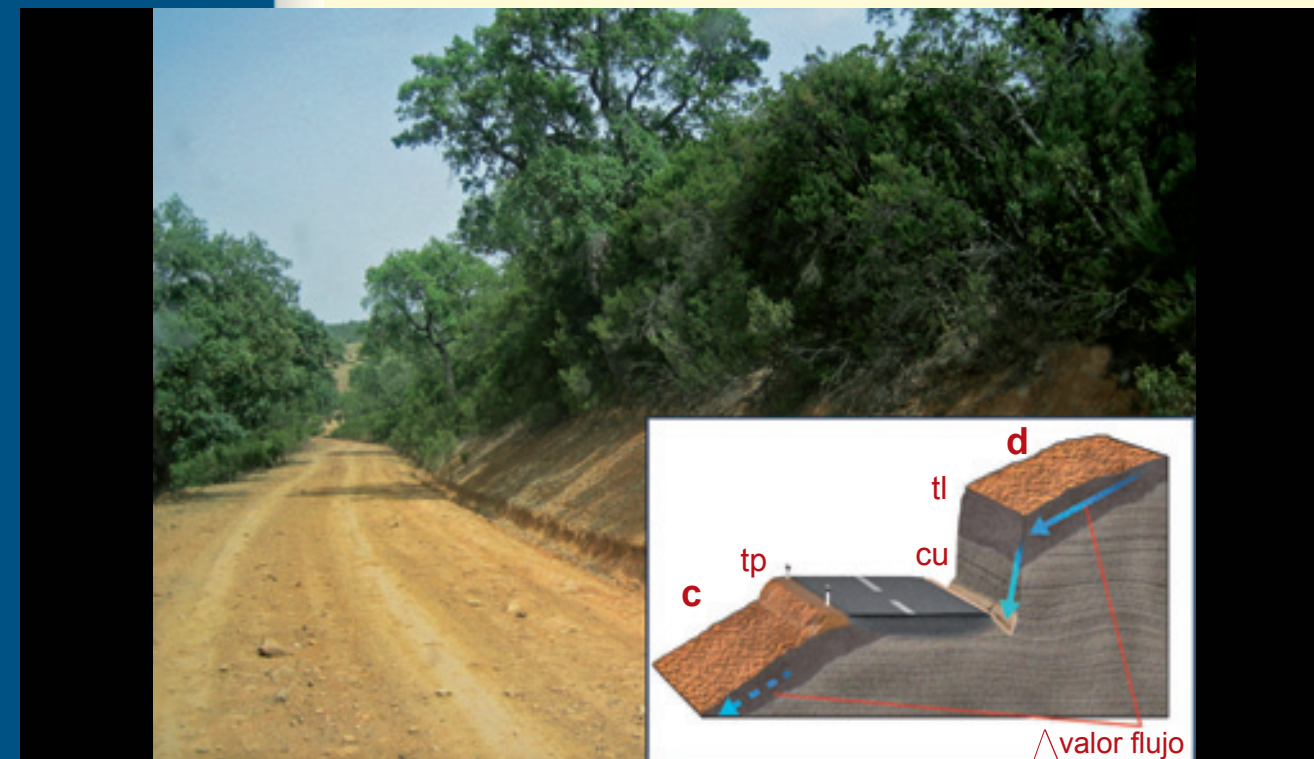




Conectividad Ecológica Territorial. Estudio de casos de conectividad ecológica y socioeconómica

F. Díaz Pineda y M.F. Smitz
(Coordinadores)
I. de Aranzábal, S. Hernández y C. Bautista



CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL

Estudio de casos de conectividad
ecológica y socioeconómica

NATURALEZA Y PARQUES NACIONALES
Serie técnica

CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL

Estudios de casos
de conectividad ecológica y socioecología

Autores:

Francisco Díaz Pineda (coordinación)
María Fe Schmitz (coordinación)
Itziar de Aranzabal
Santiago Hernández
Carmen Bautista

Colaboradores:

Pedro Aguilera - *Universidad de Almería*
(caracterización de la conectividad vertical en Andalucía)
María del Carmen Álvarez - *Universidad Complutense de Madrid*
(caracterización de la red de infraestructuras viarias)
Fernando Armendáriz, Pablo Díaz y Rita Rodríguez - *GESTINSA-Madrid y WWF-España*
(marco jurídico y legislativo)
Sergio Pérez - *Universidad Complutense de Madrid*
(esquemas e ilustraciones)
Pedro Cuesta - *Universidad Complutense de Madrid*
(análisis de grandes conjuntos de datos)

Agradecimientos:

Los autores y colaboradores de la presente obra desean agradecer el apoyo prestado por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN); a Olga Baniandres, Directora general de Conservación de la Naturaleza; a Juan Garay Zabala, Consejero Técnico del Organismo; a Lucía Ramírez Sanz, Jefa del Servicio de Investigación de la Red de Parques Nacionales y tutora del Proyecto 239/03-34 y a Benigno Asensio, Jefe del Servicio de Publicaciones de Parques Nacionales, por la revisión y edición final del documento. A la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA); a Hermelindo Castro Nogueira, Director General de Medio Ambiente, cuando comenzó la investigación que permitiría elaborar este libro a EUROPARC España, por su colaboración (el Dr. Castro Nogueira es ahora Presidente de esta Institución).

Portada: Fotografía de los autores con la que se pretende ilustrar la alteración del flujo laminar de una ladera debida un camino forestal en la provincia de Jaén e interpretación esquemática del fenómeno.

A efectos bibliográficos la obra debe citarse:

Díaz Pineda, F. y Schmitz, M. F. (coords). 2011. *Conectividad Ecológica Territorial. Estudio de casos de conectividad ecológica y socioecológica*. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 236 pp. Madrid.

Edita: O.A. Parques Nacionales

NIPO: 781-11-005-X

ISBN: 978-84-8014-791-0

Depósito Legal: BI-331-2011

Imprime: Grafo, S.A.



ÍNDICE

	<i><u>Págs.</u></i>
Presentación	5
Prólogo	9
Capítulo 1. Conexiones globales en el paisaje: conectividad física y sociocultural ..	11
1.1. Conectividad versus conexiones territoriales.....	16
1.2. Contexto de la conservación de la naturaleza	18
1.3. Tejido territorial	21
1.4. Problemas de formalización y aplicación de conceptos	24
1.5. Sectorización del espacio.....	25
1.6. Contexto para la conservación de la conectividad.....	25
1.7. Caracterización de la conectividad vertical	26
Capítulo 2. Redes de infraestructuras artificiales	29
2.1. Interferencias malla ecológica-infraestructuras artificiales	29
2.2. Caracterización de la conectividad artificial	42
2.3. Descriptores de las infraestructuras	45
Capítulo 3. Estudio de casos.....	53
3.1. Caracterización de la conectividad horizontal	53
3.1.1. Conectividad horizontal debida a fenómenos físicos	60
3.1.2. Conectividad horizontal debida a procesos biológicos	63
3.1.3. Formalización y cartografía de la conectividad horizontal	68
3.2. Interacción conectividad ecológica-infraestructuras.....	72
3.3. Conectividad horizontal debida a flujos físicos potenciales	86
3.4. Conectividad horizontal debida a flujos biológicos potenciales: fronteras cológicas asimétricas y movilidad de la fauna	96
3.5. Impactos en la conectividad horizontal	98

Conectividad Ecológica Territorial

3.6. Directrices técnicas generales	110
3.7. Directrices técnicas específicas	124
3.8. Estudios de casos de conectividad vertical: estructura del paisaje, relación con características socioeconómicas y valoración paisajística de los usuarios.	136
3.8.1. Relación entre la estructura del paisaje y la socioeconómica	136
3.8.2. Relación entre la oferta del paisaje y la demanda de sus usuarios	147
Capítulo 4. Bases jurídicas para conservar la conectividad: propuesta para su regulación y protección del paisaje	167
4.1. Caracterización del problema	167
4.2. Exposición de motivos	179
Capítulo 5. Epílogo	187
Referencias bibliográficas	215
Apéndices	191
<i>Apéndice 1.</i> Definiciones básicas contempladas en la caracterización de infraestructuras de transporte	191
<i>Apéndice 2.</i> Clases de vegetación y sistemas agrarios «energéticamente forzados» ordenados por valores estimados de biomasa y producción	194
<i>Apéndice 3.</i> Valores estimados de biomasa, producción y tasa de renovación de acuerdo con la pluviosidad del lugar y tipo de formación vegetal.....	195
<i>Apéndice 4.</i> Especies y grupos de especies considerados en el estudio faunístico	196
<i>Apéndice 5.</i> Secuencia de cálculo de la conectividad	199
<i>Apéndice 6.</i> Esquema inicial de estimación de impactos parciales de las infraestructuras de transporte.....	202
<i>Apéndice 7.</i> Resultados del cladograma jerárquico de variables climáticas, obtenido mediante análisis multivariantes sucesivos	203
<i>Apéndice 8.</i> Listado de los Espacios Naturales Protegidos referidos en los estudios de conectividad en Andalucía	204
<i>Apéndice 9.</i> Valores actuales asignados a la conectividad e impactos por afección debida a infraestructuras de transporte	205
<i>Apéndice 10.</i> Regresiones calculadas en la estimación de impactos ambientales	207
<i>Apéndice 11.</i> Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental	210
<i>Apéndice 12.</i> Tareas propias que la ingeniería civil puede contemplar en el desarrollo de infraestructuras con el asesoramiento multidisciplinar de especialistas ..	213

PRESENTACIÓN

La presente monografía surge del Proyecto 239/03-34 del Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid), que ha apoyado el desarrollo de la idea de *conectividad ecológica territorial*. El proyecto contiene como elemento de referencia al paisaje, tal como lo entiende F. González Bernáldez⁽¹⁰¹⁾. La línea de investigación de la cual forma parte este trabajo se inició en 2002, gracias al apoyo de la Junta de Andalucía y a la ayuda de la Red de Espacios Naturales Protegidos de esta Comunidad (RENPA; proyecto *Caracterización, tipificación y cuantificación de la conectividad en la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía*). Por su parte, EUROPARC España viene impulsando su Programa de Trabajo para las Áreas Protegidas 2009-2013 dedicando ya atención a la conectividad ecológica. De esta temática forma parte la presente monografía. El desarrollo de los trabajos contenidos en ella ha implicado a investigadores de diferentes especialidades cuyas motivaciones pueden encuadrarse en los objetivos de la Fundación González Bernáldez para los Espacios Naturales: la aplicación de la ciencia a la idea de conservación de la naturaleza.

Los Espacios Naturales Protegidos (ENP) constituyen, hoy por hoy, el más importante logro de la conservación de la naturaleza. Por su parte, la conectividad dentro de estos espacios, entre ellos y entre lo que ocurre dentro y fuera de ellos constituye la clave del funcionamiento del *tejido* territorial, de manera que mantener este tejido representa probablemente el mayor reto actual de la conservación de la naturaleza. El concepto de *conectividad* tiene un contenido más complejo que el de *conexión*. Indica la interacción entre dos o más sistemas, entendidos como máquinas, y, dentro de ellos, comprende también los contactos o conexiones que ocurren entre sus elementos (piezas, fenómenos puntuales). Para describir la conectividad conviene recurrir a indicadores de las propiedades de los sistemas conectados, así como a su formalización mediante funciones numéricas en las que intervengan directamente las variables y fenómenos que confieren esas propiedades.

Las tareas presentadas en la monografía no pueden considerarse terminadas pues ofrecen posibilidades de aplicación en las cuales el equipo que suscribe sigue trabajando. Tal aplicación constituye el objetivo último de los citados proyectos. Las ideas de *conectividad horizontal* —la que ocurre «dentro» de un plano— y de *conectividad vertical* —la que tiene lugar «entre» planos más o menos paralelos—, plasmadas en el libro, están llevándose actualmente a la práctica en nuevos estudios de investigación y desarrollo (I+D) que empiezan a tener efectos multiplicativos. Uno de éstos, que focaliza ambos tipos de conectividad, se encuentra en marcha como base del documento técnico sobre cuya base pretende desarrollarse la redacción del

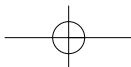
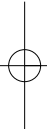
Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) de un Parque Nacional en la isla canaria de Fuerteventura, a iniciativa del Cabildo de esta isla. Todo depende, en cualquier caso, del interés que la Administración Autonómica canaria ponga en estos avances que la conectividad ecológica aporta ya a la idea de conservación. Otro estudio, encargado por la Comunidad Autónoma de Madrid, acaba de producir un informe ambiental que matiza y orienta el cierre proyectado para la tercera vía de circunvalación de la ciudad de Madrid evitando su efecto en la conectividad del paisaje. Otros estudios apenas iniciados consisten en análisis comparativos de territorios de diferentes países europeos donde es posible modelizar, como forma de conectividad vertical, los efectos que los cambios en el plano socioeconómico están teniendo en el plano del paisaje y en sus escenarios de cambio.

Algunos resultados del trabajo aquí presentado pueden verse publicados por los autores en varios foros científicos y técnicos referidos en el libro. En esta línea de trabajo se entiende que los *fenómenos físicos* y los *procesos ecológicos* –naturales y culturales– son claves para el conocimiento del paisaje y del territorio, para su gestión y para su conservación dentro y fuera de los límites de los espacios protegidos. Obviamente, desde la creación en Estados Unidos del Parque Nacional de Yellowstone en 1872, estos espacios siguen siendo un logro decisivo de la tarea de conservación de la naturaleza. La circunstancia es apreciable tanto por la preservación real del territorio que tales espacios con frecuencia alcanzan como por el compromiso que suponen para la Administración de numerosos países. Pero, no obstante, el libro defiende que, junto a los ENP, los fenómenos y procesos aludidos son los que confieren al territorio el funcionamiento propio de un *tejido*⁽²⁰⁹⁾, así que la consideración y el mantenimiento de éste es lo que constituye en realidad la base de la conservación del paisaje, de las poblaciones y comunidades biológicas, de la diversidad que mantienen, de las especies emblemáticas, de las poblaciones humanas que lo habitan y controlan, así como de cuantos valores naturales y culturales reconocen los conservacionistas en particular y las sociedades cultas en general. Reconocer ese tejido parece lógico si la conservación de la naturaleza ha de hacerse en un mundo donde la concepción cartesiana del ser humano resulta determinante. En todo el planeta, y en España en particular, está madurando la idea de formalizar la conectividad en diferentes grupos de trabajo con perspectivas académica y aplicada. Por citar sólo un ejemplo, en este caso orientado a la conectividad biológica, el lector interesado puede consultar los trabajos de S. Saura y de L. Pascual-Horta. Con referencias de este tipo, y las numerosas citas que el presente libro ofrece, algunos jóvenes investigadores pueden afianzar la filosofía y práctica de su actividad si están interesados en aplicar la ciencia a la difícil tarea de la conservación de la naturaleza, cuando se adopta sobre ella una perspectiva dinámica.

En el libro han participado diferentes científicos, ingenieros y juristas que han tratado de aportar perspectivas *sistémicas*, es decir, contemplando funcionamiento, estructuras resultantes de éste (el paisaje es resultado del funcionamiento de un sistema) y función (el paisaje desempeña ciertas funciones para la sociedad humana). Se ha considerado como conectividad horizontal a un conjunto de fenómenos y procesos que otorgan al territorio el *funcionamiento* propio de un tejido o sistema físico de conexión espacial. Igualmente, se ha considerado como conectividad vertical a la interacción entre dos planos: por un lado el de la *estructura* socioeconómica de la población que lo habita. Sobre este plano pueden aplicarse *escenarios de cambio* para simular efectos en el paisaje, o también, cambios ambientales que tienen repercusión socioeconómica. Hoy podría denominarse a esta interdependencia estructura socioecológica,

un término de moda, o quizá, más concretamente, *conectividad socioecológica*, aunque hace muchos siglos que prácticamente todos los sistemas ecológicos de La Tierra están condicionados por la actividad humana. La *noosfera*, o esfera del conocimiento humano, impregna hoy las esferas a las que se acude al describir el planeta (litosfera, hidrosfera, atmosfera, biosfera), pues todas ellas están condicionadas en mayor o menor medida por la humanidad.

Los autores desean agradecer al mencionado OAPN, especialmente a L. Ramirez Sanz, Jefa del Servicio de Investigación de la Red de Parques Nacionales, a la RENPA de la Junta de Andalucía, especialmente a H. Castro Nogueira, Director General de Medio Ambiente cuando la presente investigación dio comienzo, y a EUROPARC España, por su ayuda y colaboración.



PRÓLOGO

Probablemente no haya un logro más importante en la historia de la conservación de la naturaleza que la declaración de espacios naturales protegidos por parte de los gobiernos. Esto ha ocurrido en numerosas naciones del planeta. Constituye un gran avance de las sociedades humanas el delimitar un territorio dado y protegerlo de cualquier actividad humana que no esté orientada a mantener ciertos componentes y fenómenos físicos, biológicos y culturales, aceptados como muy valiosos y comprendidos dentro de ese espacio.

Reconocemos así poseer una naturaleza patrimonializada, «nuestra», protegida gracias a un compromiso público de la Administración de cada estado y de cada población local de mantener una valiosa herencia.

Pero el compromiso va más allá de los límites de un espacio protegido. Tal compromiso importa en realidad como un objetivo primero y último orientado a la educación ciudadana, a la preparación de la sociedad frente al reto del uso sensato de los bienes y servicios que la naturaleza, la cultura rural y las tradiciones ofrecen al ciudadano. Y también interesa como objetivo de conocimiento científico, tanto biofísico como socioeconómico. Un objetivo que adquiere cada vez más peso en la conservación y que esta monografía recoge como interesante aportación en este campo.

El territorio es un «tejido», afirman los autores del libro. Una «red» de relaciones físicas, biológicas y culturales cuyos nodos suelen ser el objeto de la creación de espacios protegidos, pero cuyos hilos permiten que funcionen como verdaderas tramas espaciales, es decir, como sistemas ecológicos o ecosistemas, tanto naturales como culturales. La conectividad –la conexión entre sistemas– es un fenómeno que adquiere más fuerza día a día entre los objetivos de la conservación de la naturaleza. Y no se trata sólo del reconocimiento del papel de los «corredores biológicos» en un territorio hostil y fragmentado por la industria humana, o de la importancia que muchos biólogos dan a las «barreras» naturales que separan unas zonas biológicas de otras, sino de la asunción de que los procesos físicos ligados a la circulación del aire y del agua, al transporte de energía, materia e información, son en la actualidad el objetivo clave para mantener la «fisiología» de la naturaleza y, particularmente, la de los espacios protegidos. Estas consideraciones señalan hoy a los límites de estos espacios como fronteras difusas, un nuevo reto y una nueva panoplia de posibles soluciones para la moderna gestión de la naturaleza y sus recursos en los tiempos que corren.

Las conexiones son de estos tipos y también de carácter socioecológico, pues todos, tanto los pueblos rurales como los que habitan en las grandes urbes, forman parte de estas redes.

Prólogo

La conectividad ecológica implica pues procesos físicos, biológicos, sociales y económicos interconectados.

Este libro aborda el tema. Lo trata desde una perspectiva académica y científica, pues es producto de tareas realizadas en laboratorios, y también desde una perspectiva técnica —la aplicación de la ciencia—, pues afronta el reto de comparar las redes rurales con las nuevas redes de infraestructuras, y desde una perspectiva socioecológica, porque estudia y discute las relaciones entre las sociedades humanas y los paisajes rurales, los rápidos cambios que tales sociedades experimentan en el mundo actual y sus consecuencias en estos paisajes. Por último, también se aporta aquí un análisis del marco jurídico en el que, en todo caso, deben basarse las acciones de conservación de la naturaleza.

Los modelos y mapas que tratan estos temas, que el lector podrá apreciar en este libro, son realmente novedosos y sugerentes.

OLGA BANIANDRES

Directora del Organismo Autónomo Parques Nacionales

Capítulo 1

CONEXIONES GLOBALES EN EL PAISAJE: CONECTIVIDAD FÍSICA Y SOCIOCULTURAL

La imagen que un observador percibe de su entorno se conoce como «paisaje». Esa imagen es polisensorial^(101,214,244), aunque la referencia al sentido de la vista sea la comúnmente utilizada. Sólo con esta referencia el término paisaje admite ya muy variadas acepciones, contextos para su estudio y aplicación de la idea. El paisaje puede considerarse como un concepto antropocéntrico: la imagen construida conscientemente o no en la mente de un ser humano a partir del conjunto de objetos que percibe en su entorno. También constituye una idea etnocéntrica. Así, la composición mental de la imagen de una calle de una ciudad que visita un pastor, habituado a la vida en el campo, es muy diferente de la que hace un ciudadano que va de compras por esa calle, la de un policía acostumbrado a transitarla, la de un arquitecto o la de un pintor. Por su parte, las imágenes de cualquier espacio rural que construyen estas personas en sus mentes, siendo muy variables entre sí, son todas muy diferentes a la del pastor. Cualquier análisis formal que se hiciera de esto mostraría que las imágenes construidas (los paisajes) son en realidad bastante distintas entre sí, tanto si se hace intervenir la consciencia mediante un análisis previamente protocolizado (por ejemplo, con preguntas sobre lo que ve cada uno) como si la percepción ha sido inconsciente, llevándose a cabo ese análisis *a posteriori*.

El paisaje también lo perciben otros seres vivos, como los animales, y no sólo ellos. En la percepción intervienen diferentes tipos de sensores, pudiendo ser muy relevantes los olfativos o auditivos.

Para entender bien el paisaje, para conservarlo y para gestionarlo como recurso, debería recurrirse al análisis del conjunto más completo posible de fenómenos físicos y procesos ecológicos del entorno. De todos ellos depende la imagen percibida. F. González Bernáldez⁽¹⁰¹⁾ llamaba a ese conjunto «criptosistema», o sistema oculto a los sentidos, y al paisaje «fenosistema», a semejanza del término biológico fenotipo: «el paisaje es la manifestación sensorialmente perceptible de una trama de relaciones subyacente». Los sentidos del observador no acceden, o no acceden fácilmente, a esa trama (por ejemplo, la relación entre el carbono y el nitrógeno del suelo no puede percibirse con ningún sentido, como tampoco el comportamiento del pH del agua, la tasa de natalidad de las poblaciones biológicas, la trascendencia de las fechas de las fiestas tradicionales de una comarca, etc., circunstancias éstas que explican, cada una en su medida, el paisaje resultante).

Sobre la base de estas consideraciones se ha elaborado la presente monografía. El marco es, pues, el paisaje. Dentro de él un conjunto de componentes del criptosistema. Los auto-

res se preocupan por sacar a la luz algunos elementos imprescindibles para comprenderlo y para su buena gestión –para la administración «sensata» del paisaje, podría decirse–. Esto compromete a estudiar un número determinado, siempre limitado, de fenómenos y procesos. La gestión del paisaje es en el fondo la misma idea que la conservación de la naturaleza, que pocas veces es enteramente salvaje. Las características geóticas, biológicas, rurales y culturales tradicionales que interesan a los conservacionistas dependen realmente del mantenimiento de esos fenómenos y procesos. Sin esto la «naturaleza», el mundo salvaje o el rural cultural se convierten con facilidad en parques zoológicos, granjas, jardines botánicos o simples museos al aire libre. Tales creaciones humanas pueden no estar nada mal a veces pero nadie las reconocería como logros de la conservación. Ocurre también que la sensatez aludida depende mucho del punto de vista del administrador. Puede ser sensato para un agricultor lo que no lo es para un visitante ocasional, un naturalista, un artista, un ingeniero –o bien un constructor de viviendas en un país con una economía como la de la España actual–.

Por otra parte, debe admitirse que la conservación de la naturaleza dista un poco de ser un concepto objetivo –científico, tal vez– y cuantificable con cierta precisión. En todo caso, la vida en La Tierra, la vida humana en particular y la salud y felicidad que las personas persiguen, dependen de la conservación de los fenómenos físicos mencionados dentro de ciertos umbrales que frecuentemente son subjetivos. El paisaje también depende de esto (Cuadro 1).

Cuadro 1. Funcionamiento y función del paisaje

El paisaje es una *imagen sensorial* construida en la mente de un observador. Resulta del *funcionamiento* de una trama de relaciones que se comporta como un sistema y que ejerce una *función* para el observador.

El funcionamiento del *paisaje natural* no está condicionado por la actividad humana. Su función es la de un ente que puede ser contemplado y explotado, reconociéndose su existencia y, en su caso, valorándose consciente o inconscientemente como recurso.

El *paisaje cultural* es producto del conocimiento humano y de su intervención en el entorno para cambiar su función. La intervención supone modificar el funcionamiento del paisaje en pequeña o en gran medida, afectando a los fenómenos físicos y biológicos que lo sostienen y creando otros culturales, que añaden a la posibilidad de la contemplación una función de uso, como el agropecuario, el refugio o la industria.

La ciudad, con sus edificios, calles o plazas, ofrece un paisaje cultural de refugio –como hacen los paisajes de interiores, con sus paredes y mobiliario–, así como de relación social, ocio, trabajo, recreo, etc. Fuera de ella, el *paisaje rural cultural* puede ser *tradicional*, si se mantiene con la transmisión generacional de los aciertos y los errores en el uso del espacio (y no meramente transmisión de costumbres). El carácter tradicional puede aplicarse también, por ejemplo, al paisaje de una ciudad antigua. El *paisaje artificial* que ofrecen algunos escenarios de teatro o cinematográficos es un artilugio cultural que ejerce una función comunicativa.

El funcionamiento y la estructura del paisaje pueden ser *analizados y descritos* con ayuda de las ciencias biofísicas y sociales, pudiéndose adoptar para ello una visión *cartesiana* –territorial, espacial (las tramas de relaciones confieren las propiedades de un *tejido*)–. Igualmente, la relación entre el paisaje y la población humana que lo habita puede ser formalizada, lo que permite modelizar *escenarios de cambio* en aquél y en ésta. La presente monografía muestra varios estudios de casos sobre ello.

En la presente monografía se formaliza la idea de conectividad ecológica territorial considerando fenómenos físicos y biológicos que permiten entender el paisaje como resultado del funcionamiento del tejido territorial. En él entran en conexión flujos energéticos y materiales entre unas porciones del espacio y otras. Puede denominarse a este conjunto de conexiones «conectividad horizontal». El paisaje es también consecuencia de actividades humanas propias de diferentes culturas. Así, en cualquier espacio intervenido por el hombre pueden imaginarse planos de interdependencia superpuestos que corresponden respectivamente a la estructura del paisaje y a la estructura socioeconómica. Entre ambas existe una «conectividad vertical» o «socioecológica», derivada de la interacción entre cultura y naturaleza. En realidad en las conexiones horizontales del paisaje queda también patente la influencia cultural en la mayor parte del mundo, algo que viene ocurriendo en algunos lugares desde fechas relativamente recientes y en muchos otros desde hace milenios. La Figura 1 es un esquema de la idea comentada.

Estos dos tipos de conectividad se han estudiado en territorios piloto. Los fenómenos físicos contemplados son los derivados de la topografía, el clima y las fases iniciales del ciclo hidrológico en su ruta continental. Los biológicos se deben a la existencia de fronteras eco-

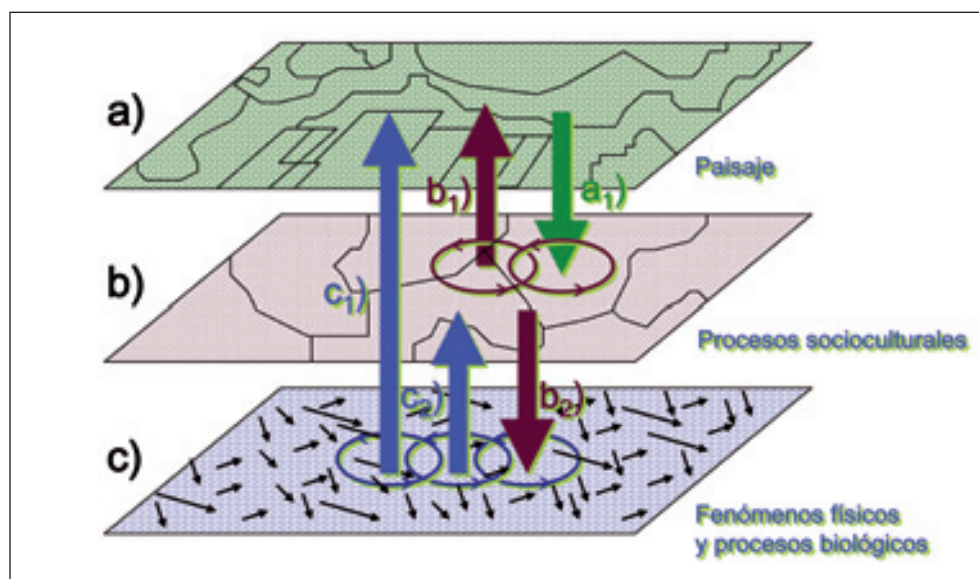


Figura 1. Idea desarrollada en la presente monografía. Se consideran tres planos correspondientes a un mismo territorio entre los que existe cierta interdependencia. En el primero (a) aparecen delimitadas «unidades» de paisaje. El segundo (b) representa la socioeconomía; las unidades delimitadas pueden corresponder a municipios o entidades de población donde se encuentren registrados datos de carácter socioeconómico. El tercer plano (c) representa la trama ecológica de ese territorio, de la que se han separado idealmente los planos anteriores. Las flechas grandes representan la influencia de un plano sobre otro. a_1 indica el condicionante que el paisaje impone a la población humana —en tiempos remotos serían sólo condicionantes naturales de tipo geótico y biológico; más tarde participarían también condicionantes culturales (paisaje cultural)—.

b_1 representa la influencia de los procesos socioculturales sobre el paisaje, que modifican en mayor o menor medida su carácter natural transformándolo en paisaje cultural. b_2 indica, igualmente, la influencia humana sobre los procesos físicos y biológicos del espacio contemplado. c_1 y c_2 representan, respectivamente, el condicionante de la trama de relaciones ecológicas sobre el sistema socioeconómico y sobre el paisaje, considerado aquí como resultado de todo este proceso.

lógicas asimétricas –contactos entre formaciones vegetales de diferente grado de desarrollo (acumulación de biomasa, producción y desarrollo edáfico)–, así como al comportamiento previsible de algunos componentes conspicuos de la fauna que se han contemplado a manera de ensayo (Fig. 1c).

Por su parte, la conectividad vertical se ha formalizado como relación canónica entre la estructura socioeconómica de la población local de esos territorios y la estructura paisajística (Fig. 1b). Cuando el manuscrito entra en imprenta, se estudia también un caso de relación entre los componentes forestales del paisaje y el clima, simulándose escenarios de cambio (Fig. 1c) que no ha sido posible incluir en el libro. Todos estos tipos de conectividad se han descrito de manera simple, mediante modelos ya ensayados por el equipo que suscribe, con ecuaciones sencillas de regresión y superficies de tendencia, a manera de ensayos metodológicos aplicados a escenarios de cambio socioeconómico cuya repercusión en el paisaje cultural se ha simulado.

Se ha indicado antes que los fenómenos físicos y procesos ecológicos –incluidos los culturales– que mantienen las conexiones espaciales horizontales del territorio deben constituir hoy objetivos clave en la conservación de la naturaleza. El concepto debe contemplarse tanto dentro de los ENP como fuera de ellos, compromete a la gestión de los suelos, al ciclo hidrológico y a las tramas biológicas y culturales. Obviamente, el mantenimiento del *paisaje cultural rural* depende de la integración socioeconomía-paisaje. Este paisaje puede ser *tradicional*, de manera que tal integración puede revestir hoy serias dificultades, dados los cambios acelerados que viene experimentando la sociedad humana apenas durante las últimas tres décadas. Esta conectividad vertical resulta clave, entre otros sitios, en el mundo rural mediterráneo⁽²¹⁾, actualmente sujeto a serias tensiones que varían desde el abandono rural a la intensificación agraria y ocupación urbana e industrial.

Mediante los estudios realizados, comentados en la monografía, ha podido verse que en los espacios protegidos presentes en territorios piloto, los sitios rurales-forestales vienen hoy caracterizados por el crecimiento del negocio turístico-rural, la inmigración interior y, curiosamente, por la actividad de profesionales ocupados en diferentes facetas de la educación. Fuera de estos espacios, el mantenimiento de los paisajes culturales probablemente requiere fomentar los cuidados tecnológicos (por ejemplo, según qué casos, mediante promoción de cooperativas agrarias y reforzamiento de cabañas ganaderas). Esto constituye también un objetivo clave de la conservación de la naturaleza en la actualidad.

Un recorrido por casi cualquier territorio permite entender también que las infraestructuras de transporte son causantes de la principal interferencia humana en la conectividad ecológica territorial. Estas infraestructuras son elementos importantes de la ordenación del territorio que deben, por tanto, incorporar en su diseño y desarrollo la idea de conectividad ecológica para no producir interferencias espaciales graves. En la concepción de estas infraestructuras la transdisciplinariedad es un soporte esencial del renombrado desarrollo «sostenible» del territorio: las directrices técnicas de planificación del transporte deben incorporar con decisión medidas y recursos para proteger la conectividad ecológica. Hay precedentes de esta preocupación en numerosos trabajos^(15,85,207,210,219, entre otros). En ellos es motivo de análisis la interferencia entre la conectividad natural y la derivada de infraestructuras de transporte. También en este sentido, con preocupaciones muy centradas en la conectividad biológica –particularmente en la movilidad de la fauna–, pueden consultarse los trabajos de Rossell *et al.*⁽²³⁶⁾, Hilty *et al.*⁽¹¹⁵⁾, Hervás *et al.*⁽¹¹⁴⁾, Álvarez *et al.*⁽⁵⁾, Baguette & Van Dyck⁽¹⁰⁾ o Limborg *et al.*⁽¹⁴⁸⁾, entre otros.

En un caso práctico comentado en la monografía, al analizarse la conectividad horizontal se observa coincidencia «afección a la conectividad-presencia de espacio protegido». Esto refleja probablemente peculiaridades mesoclimáticas y topográficas propias de estos espacios respecto a las del resto del territorio y que son sensibles al trazado de infraestructuras. La circunstancia invita a iniciar la práctica de la restauración de la conectividad precisamente en estos espacios, considerados «naturalísticamente más valiosos», extrapolándose la acción al resto del territorio.

Desde el punto de vista jurídico ha podido verse que existen importantes lagunas que impiden conservar eficazmente la conectividad. No obstante, las leyes y normativas existentes en España ofrecen posibilidades no llevadas a la práctica. En la monografía se indica, en este sentido, que tanto estas leyes y normativas como otras nuevas apropiadas que es necesario desarrollar deben aplicarse con decisión a la conservación de la conectividad.

Relacionado con todo esto, parece claro que la administración debiera contar con el asesoramiento de un *observatorio de la conectividad ecológica territorial*. Es decir, una institución independiente que manejara información sobre los fenómenos físicos, biológicos y rurales-culturales que mantienen las conexiones ecológicas esenciales del territorio, evalúe permanentemente la importancia de éstas, detecte lugares de tensión con infraestructuras humanas, no sólo de transporte, y califique jurídicamente las situaciones más relevantes. Este observatorio debería llevar a cabo declaraciones y seguimiento de fenómenos de conectividad ante obras e instalaciones públicas y privadas de manera semejante a las actuales «declaraciones de impacto ambiental» de la administración.

Estas consideraciones invitan a una renovación de los criterios habituales de la planificación ambiental.

Las conexiones aquí contempladas pueden ser formalizadas y cuantificadas y no deben imaginarse sólo como reticulados de estructuras necesariamente lineales, como sotos, setos y estrechos corredores biológicos por donde se mueve la fauna. Aunque es cierto que estas estructuras cumplen una parte de esas conexiones, en el presente libro éstas se entienden sobre todo como estructuras laminares, continuas o discontinuas, de diferentes formas y recorridos. Esta es la idea del libro. En un caso práctico comentado se considera que principalmente son los flujos hídricos quienes, por un lado, determinan las dinámicas geoquímicas espaciales y el transporte de materiales geóticos y bióticos y, por otro lado, influyen decisivamente en los trasiegos rurales y en las tensiones energéticas de las «fronteras entre ecosistemas» de diferente tasa de renovación –*turnover*– y madurez. En gran medida, los flujos hídricos también se relacionan con las migraciones biológicas y terminan configurando la estructura y función del paisaje natural. Se ha estimado cómo esta dinámica, que pasa bastante desapercibida al observador poco entrenado, se ve afectada por el trazado de las mencionadas infraestructuras de transporte, recomendándose directrices para evitar o paliar esta afección.

En consideración al marco paisajístico que se tiene en cuenta en la monografía, aunque la idea de paisaje se refiere a un conjunto unitario⁽²¹³⁾, se diferencian en ella componentes concretos y relativamente fáciles de delimitar mediante fronteras de separación entre porciones del espacio. Estas fronteras tienden a ser identificadas fisionómicamente. Así, los límites de bosques, praderas, cultivos, arroyos, montañas, roquedos, etc., se delimitan bien visualmente en recorridos de campo y en imágenes fotográficas o de otros tipos y pueden usarse para ela-

borar mapas. No obstante los propios «límites estructurales» entre estas porciones pueden resultar subjetivos⁽⁵⁹⁾, no se diga los «límites funcionales» ligados a fenómenos que conectan entre sí tales porciones, habitualmente poco visibles.

Por el momento, la mayoría de los mapas denominados «ecológicos» han ignorado tales conexiones y muy pocos⁽³⁾ han reflejado algunos fenómenos temáticos relacionados con ellas, a pesar de su importancia clave para conservar la naturaleza y planificar ambientalmente los usos del territorio. Ambas cosas requieren pensar en mantener la funcionalidad de los ecosistemas.

1.1. Conectividad versus conexiones territoriales

En el texto que sigue se sostiene que, en efecto, una moderna concepción de la conservación de la naturaleza y de la gestión de sus recursos depende del mantenimiento del citado tejido territorial. Las conexiones estudiadas representarían una «red ecológica». Esto es un concepto parecido al empleado por algunos autores^(15,16,192) al estudiar la «conectividad» natural del territorio y las posibilidades de gestión de la red que esta conectividad origina.

La conectividad, originalmente entendida como «la capacidad de conexión entre computadoras»⁽¹⁷⁸⁾ representa teóricamente la interacción entre sistemas. El concepto es un tema recurrente en ecología que contempla habitualmente relaciones entre especies biológicas y, menos comúnmente, entre sus comunidades. Su formalización ha interesado a diferentes investigadores^(2,39,189,198,223). Se lo ha relacionándolo con la estabilidad de sistemas ecológicos, con la diversidad biológica, la función de ésta y la complejidad espacial^(13,81,162,185,229,240). La conexión se manifiesta a través de flujos de materia y energía y mediante intercambios de diferentes tipos de información. Los primeros quedan patentes, por ejemplo, entre depredadores y presas, hospedantes y parásitos, algunas relaciones mutualistas, etc. Los flujos de información tienen lugar mediante sonidos, mensajes con coloridos, marcas, etc., que también pueden tener carácter mutualista, defensivo, etc.

La conservación de la naturaleza tiene mucho que ver con la voluntad expresa de mantener interacciones de estos tipos, pero es muy frecuente ignorar, o no considerar, que las conexiones ecológicas no conciernen sólo a relaciones biológicas –la «parte biológica» de los ecosistemas que tanto interesan a la mayoría de los ecólogos y naturalistas–. Los flujos energéticos y materiales de un ecosistema conciernen también a las interacciones que ocurren en el medio físico y a las del mundo biológico con éste. Frecuentemente no se trata siquiera de relaciones tróficas, sino meramente físicas: así, la evaporación del agua del suelo depende del calentamiento de éste por la radiación solar, la actividad descomponedora de las bacterias del suelo depende también del calentamiento solar de éste, aunque está claro que debe haber materia orgánica que descomponer. La disponibilidad de agua y nutrientes del suelo que sustenta la vegetación de un lugar puede depender del suministro de esos materiales a través de la escorrentía gravitacional de una ladera o de la descarga evaporativa de aguas subterráneas que se infiltraron y percolaron en el sustrato a gran distancia de ese lugar⁽²⁴⁾. Una locomotora es un sistema que funciona mediante conexiones que confieren las propiedades al conjunto y no tienen porqué tener base biológica alguna. La propia Internet es un sistema de este tipo. La conectividad que interesa a los ecólogos concierne, pues, también a procesos no exclusivamente biológicos ni ligados directamente a la vida.

Para un número dado, S , de piezas diferentes de un sistema (especies, en el caso de una comunidad biológica) el número mínimo de conexiones entre pares de piezas que las implique a todas es $S-1$ (dos, si las piezas son tres; cinco, si son seis, etc.). El número máximo es $S(S-1)/2$, una cantidad que generalmente es bastante más baja en la naturaleza —entre una población de zorros, otra de conejos y otra de tréboles no es posible que se de ese número máximo (tres), a menos que los zorros sean omnívoros—. Además, la conexión directa entre muchos de los componentes de un sistema tampoco es materialmente posible si el número de éstos es muy elevado pues, aparte de los condicionantes debidos al carácter trófico de cada especie, el espacio cartesiano sólo permite algunas conexiones por la mera imposibilidad física de conectarlo todo con todo. El complejo cableado eléctrico de un avión moderno o las conexiones de una computadora ofrecen una idea de esto.

Los índices de diversidad que utilizan los ecólogos permiten imaginar la cantidad de información que fluiría en una comunidad biológica para un número dado de clases de componentes (especies). Consciente de la imposibilidad de que todas las conexiones probables puedan ocurrir en la práctica, R. Margalef^(162,164) considera que la diversidad biológica mide sólo la «anchura del canal de información» que fluye en la «parte viva» de un ecosistema y no la información real que podrían llegar a generar todas las conexiones entre especies. La información no es otra cosa que la diferencia entre las probabilidades *a priori*, que pueden ser muchas y ocurrir al azar, y las posibilidades *a posteriori*, que suelen ser muchas menos. Junto a la imposibilidad física aludida, que no es poco —piénsese en los numerosos pliegues que tiene el cerebro de un vertebrado para conducir una información compleja mediante conexiones entre pares de sus numerosas neuronas—, existe la imposibilidad comentada del engarce real posible entre piezas de diferentes tipos.

En la monografía se extrapola esta idea al territorio, que se equipara al ya mencionado tejido vivo —más que a la hilatura de un paño inerte—. Es decir, una trama de relaciones espaciales basadas en conexiones de unas porciones con otras que pueden estar cerca o muy alejadas entre sí. Son numerosas las conexiones posibles en las tramas físicas, biológicas y culturales territoriales. Si se formalizan las que permiten conexiones «horizontales» entre dos puntos cercanos, se tiene ya una caracterización dinámica del territorio de utilidad para conservar la naturaleza —mantener procesos naturales claves—. Las conexiones horizontales que se describen más adelante son físicas y biológicas y se refieren a puntos cercanos entre sí, aunque el conjunto de interacciones resultante permite visualizar una trama territorial bastante compleja en espacios extensos. Algo parecido a lo que ocurre con las conexiones entre las neuronas de un animal y en todo su sistema nervioso.

La idea asumida concuerda con conceptos establecidos sobre la dinámica geótica y ecológica territorial en que vienen insistiendo diferentes autores desde hace tiempo^(30,86,89,96,101,209,218,261). Se considera este punto de vista previéndose las posibilidades actuales de aplicarlo a la conservación de la naturaleza y a la gestión ambiental del territorio. Los símiles del «tejido» y del «paño» tienen en común la idea de «trama de relaciones» —es decir, una estructura que liga entre sí a sus componentes, o facilita que la ligazón ocurra, y da cohesión al conjunto—, pero con diferente significado y consecuencias en el primer símil que en el segundo.

Se carece de una adecuada formalización de lo que resultaría de «mayor interés» para la conservación de la naturaleza. Habitualmente las prioridades se fundamentan en urgencias, lo

que no carece de lógica. En la relación «planificación ambiental-ecología» parecería evidente la importancia de proteger las conexiones que mantienen la funcionalidad del tejido territorial. No estando aún del todo claro cuáles habrían de ser los criterios y parámetros más importantes a considerar para evaluar cuantitativa y pragmáticamente las conexiones espaciales que puedan resultar «claves», se ha analizado la conectividad a través de las tareas siguientes:

Para caracterizar la conectividad «horizontal» se han tenido en cuenta fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico, el clima, la topografía, la movilidad biológica y las tensiones energéticas derivadas de la producción y la biomasa acumulada en diferentes porciones del territorio. La síntesis cartográfica de esto constituye un objetivo nuevo que se presume de interés decisivo para la conservación de la naturaleza.

Para caracterizar la conectividad «vertical» se ha analizado espacialmente el paisaje, diferenciándose unidades territoriales, y se ha formalizado la correspondencia entre su estructura multivariante y la estructura socioeconómica de la población humana local. El procedimiento para llevar a cabo esta formalización ha sido ensayado en trabajos previos^(54,247,250). En los casos estudiados se ha elaborado previamente una base cartográfica basada en la co-ocurrencia y correlación entre componentes físicos del territorio (clima, topografía, litología). Estos componentes se han integrado mediante un procedimiento que caracteriza la tendencia de variación física del ambiente e incorpora a ésta la dependencia biológica (componentes biológicos, usos rurales). Así se ha hecho una sectorización ecológica jerárquica del territorio, disponiéndose de un mapa que depende de las variables de mayor poder descriptor. Disponer de un mapa de este tipo no constituye hoy un objetivo novedoso –aunque lo es el procedimiento de elaboración–, sino un material de partida para describir la conectividad como aportación original.

La conectividad horizontal se ha analizado en Andalucía oriental –provincias de Jaén, Granada y Almería–, donde pueden llevarse a cabo comparaciones dentro de un marco climático y geográfico apropiado. La conectividad vertical se ha estudiado en varios sitios piloto con diferentes contextos geográficos y socioeconómicos –provincia de Madrid, comarca de Los Monegros (Castellón), cordilleras centrales españolas, norte de la provincia de Almería–.

Por otra parte, se ha tipificado también la red de infraestructuras de transporte humano en uno de esos territorios –autopistas y autovías, carreteras y vías rápidas y caminos y vías pecuarias– y se ha descrito su interferencia en la conectividad ecológica territorial para un conjunto de características propias de tales infraestructuras, identificándose puntos de «tensión» entre ambas. A partir de ello, se han modelizado y cartografiado los costes ambientales –«impactos»– derivados de la interacción entre estas infraestructuras, detectándose los componentes clave del impacto y, con esta referencia, se han establecido algunas directrices para la «permeabilización» de las infraestructuras artificiales aminorándose o eliminándose sus interferencias.

Finalmente, se han analizado también las lagunas jurídicas que se detectan al tratar de aplicar las ideas emanadas del estudio a la conservación de la naturaleza y a la planificación ambiental, proponiéndose unas bases mínimas para la adaptación jurídica a estos objetivos.

1.2. Contexto de la conservación de la naturaleza

Parece importante aplicar la ciencia ecológica a la conservación de la naturaleza y a la gestión ambiental del territorio, pero hay incertidumbres que dificultan esta aplicación. Por

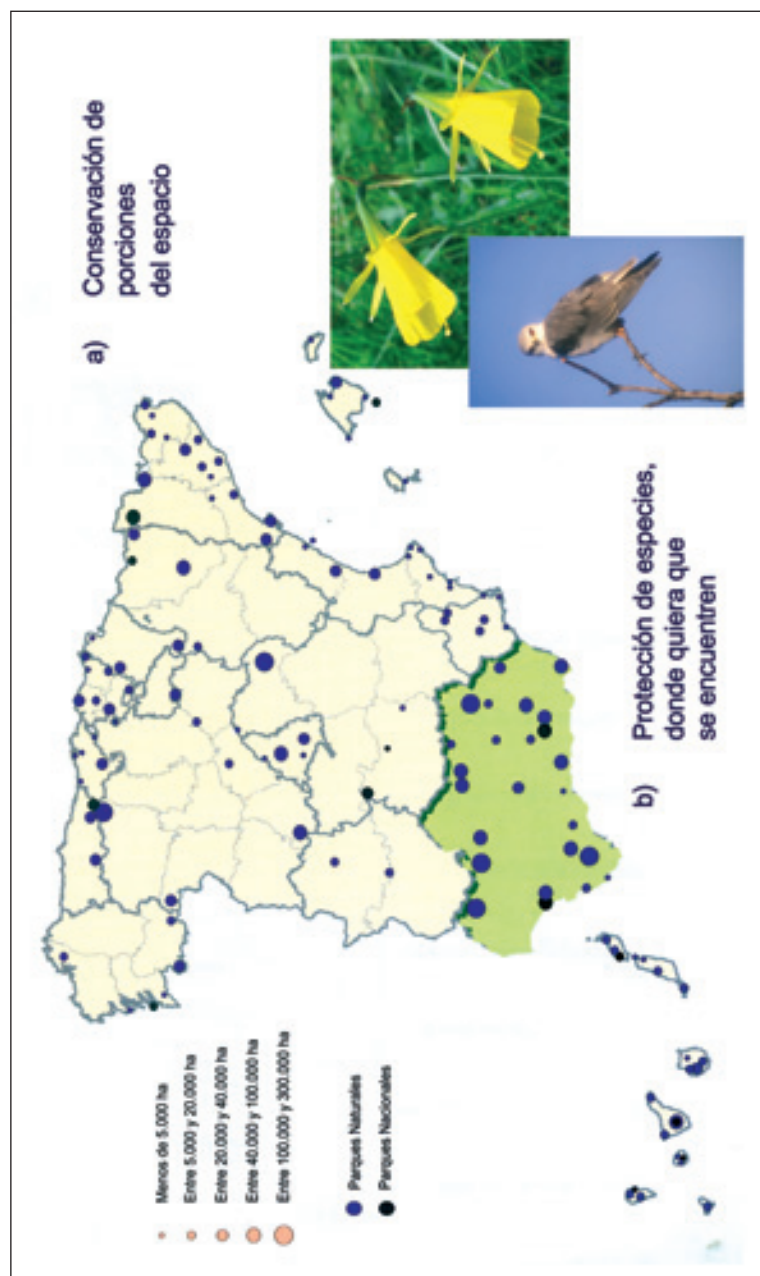


Figura 2. Logros o resultados tangibles hoy en día de la puesta en práctica de la idea de conservación de la naturaleza. a) Espacios protegidos en España. b) Algunas especies protegidas: la planta es *Narcissus bulbocodium* y el ave *Elanus caeruleus* (elanio azul, fotografiado por D. Ribero). Los «espacios naturales protegidos» constituyen lugares que ocupan extensiones muy variables (apenas unos metros cuadrados en algunos sitios declarados como «monumentos naturales», miles de hectáreas en ciertos «parques nacionales», etc.). Su administración se lleva a cabo bajo la cobertura de normativas jurídicas específicamente orientadas a «la conservación» que no se aplican fuera de los límites de tales espacios. Junto a la de estos espacios, la conservación de la biodiversidad constituye otro logro cada vez más visible. En realidad lo que focaliza esta otra idea es la protección de determinadas especies –vivan o no dentro de espacios protegidos–, consideradas «valiosas» por diferentes motivos. Tal protección compromete también al mantenimiento del hábitat donde estas especies viven, de manera que conservar especies y entender el funcionamiento físico (el ambiente) de los ecosistemas son ideas cada vez más interdependientes.

una parte, en algunos foros se ha considerado que probablemente la manera fría y objetiva de conservar mejor la naturaleza sea delimitar porciones del espacio donde no se lleven a cabo actividades humanas^(206,216) — conclusiones del primer congreso sobre diversidad biológica celebrado en España en 1989⁽²¹¹⁾—. Así se crean continuamente en todo el mundo «espacios naturales protegidos». En éstos se aplican, y se ensayan, más fácilmente determinadas normativas legales orientadas a preservar componentes generalmente tangibles de la naturaleza, como ciertas rocas, estratos geológicos, animales, plantas, montañas, sitios rurales, etc. Estos componentes son los que han sido reconocidos como de «alto valor», de acuerdo con ciertos criterios y puntos de vista. Puede decirse, pues, que los espacios protegidos son instrumentos marco de la idea genérica de conservación de la naturaleza y que las normativas jurídicas son las herramientas de las que es necesario proveerse para llevarla a cabo.

Por otra parte, la conservación de la naturaleza se basa también en la protección de especies y razas biológicas donde quiera que se encuentren. Entre ellas destacan determinados animales, sobre todo los de pelo o pluma, cuyos individuos resultan muy conspicuos por su tamaño, apariencia o rareza. Tanto para este objetivo como para el anterior se disponen de normativas y leyes que hacen posible la tarea y sin las cuales la conservación sería imposible en la práctica. La educación ambiental y el esfuerzo por despertar y mantener viva la conciencia ambiental en la sociedad, siendo actividades esenciales, no bastan sin esos apoyos jurídicos. La conservación se basa, pues, esencialmente en el objetivo de preservar porciones discretas del espacio y en el de proteger especies y razas biológicas donde quiera que se encuentren (Fig. 2). Esto es una realidad y también un gran logro de la conservación que se han mantenido hoy por hoy con el riesgo de que la idea quede mucho tiempo más estancada sólo en esos dos objetivos.

El concepto de conservación, sin embargo, manteniendo presentes esos objetivos, debe evolucionar. Sobre todo porque sus definiciones, asunciones y logros, que a veces no lo son tanto, provocan cierta insatisfacción en la sociedad y en la propia comunidad científica. Por su parte, la idea de ecosistema, con aciertos y también con acepciones de notable dogmatismo, va incorporándose progresivamente a la de conservación, hasta el punto de afirmarse que no hay que pensar en conservación de especies ni de lugares, sino en protección de procesos naturales de interacción, es decir, ecosistemas. Con enorme frecuencia estos procesos no entienden de fronteras ni de límites de espacios protegidos, ni funcionan sólo como procesos naturales sino condicionados por fuertes interferencias humanas (la mayor parte de los paisajes y de los ecosistemas que los mantienen son sistemas culturales).

En relación con ello, los rápidos cambios que viene sufriendo la sociedad humana afectan al paisaje local y a todo el territorio, de manera que cada vez resulta más evidente la necesidad de añadir a aquellos dos objetivos de la conservación el de mantener, por un lado, los citados fenómenos físicos y procesos ecológicos claves —ocurran dentro o fuera de los espacios protegidos— y, por otro, es importante que la componente cultural esté presente en las metas de la conservación de la naturaleza. En la presente monografía se pretende contribuir a comprender uno y otro tipo de proceso, formalizándose la conectividad horizontal (funcionamiento del tejido territorial) y la conectividad vertical (correspondencia entre los planos paisaje y socioeconomía), respectivamente (Fig.1).

En los espacios protegidos se desea mantener paisajes y componentes físicos o biológicos «valiosos», incorporando criterios tales como integridad ecológica, resiliencia o elasticidad.

dad, etc., y, sobre todo, razones éticas. Consideraciones semejantes se hacen para conservar las especies (singularidad, rareza, utilidad), algunas de las cuales se reúnen en «listas rojas», donde constan las amenazadas y en peligro de extinción. En cuanto a los fenómenos físicos, su papel en la conservación ha recibido menos atención que las especies o el paisaje, al menos de forma explícita. Sin embargo, para planificar ambientalmente los usos del territorio son decisivos ciertos fenómenos vectoriales que soportan procesos ecológicos de relevancia espacial. Es el caso de los flujos de energía y movimientos de agua y materiales con cadencia «natural», migraciones biológicas, etc. Estos procesos dan cohesión al territorio y facilitan la complementariedad de la protección de espacios con la gestión ambiental de regiones y comarcas más amplias.

1.3. Tejido territorial

Para interpretar y describir un territorio parece esencial conocer y comprender su componente geótico. En 1974 V.N. Solntsev⁽²⁶¹⁾ destacó las propiedades fundamentales de la estructura de los «geosistemas» para explicar espacios geográficos complejos. Este geólogo y geógrafo entiende la «estructura general» del espacio territorial como una ordenación de objetos: la estructura «físico-geográfica» es la disposición geográfica de geocomponentes que tienen un rango determinado. Según Solntsev, en los geosistemas, los «patrones espaciales» no interesan tanto como sus «propiedades funcionales». Estas propiedades las explica Solntsev en términos de «mosaicidad» y «orientatividad».

La mosaicidad es la expresión del espacio a manera de células o teselas que constituyen mosaicos en el territorio a una escala dada y que se ordenan en rangos progresivamente crecientes^(260,261). La orientatividad es la ordenación de «series de teselas» en estructuras alargadas o hileras más o menos anchas, que destacan en el mosaico general. «Las series comúnmente ocupan solamente parte de conjuntos mayores de células y se descomponen en células de rango más pequeño». Los fenómenos de insolación irregular del espacio, la acción de la gravedad y el ciclo hidrológico organizan este conjunto como una serie de geosistemas en las sucesivas escalas. La «exposición» de los geosistemas es, según Solntsev, la posición relativa a los flujos de materia y energía generados por esos fenómenos (Fig. 3).

La reunión de series expresa el «momento de continuidad del cambio espacial» y se orientan en la dirección de «vectores de máximo cambio» de los fenómenos de pendiente e hídricos –superficiales líquidos o sólidos (glaciares, placas de hielo), subsuperficiales (sobre todo ligados al suelo y su materia orgánica) y subterráneos (recargas y descargas de acuíferos)–. Todos ellos están ligados a fenómenos de transporte hidroquímico y litológico. Las series se diferencian –a distintas escalas espaciales– en forma «zonal» (por ejemplo, bandas o pisos altitudinales, grandes unidades litológicas), que constituyen series «equipotenciales», que forman la «estructura equipotencial» del territorio.

Equipotencialidad (clima, litología, altitud), vectorialidad (flujos materiales ligados a la acción de la gravedad y a la capilaridad) y mosaicidad (fenómenos locales) son, pues, tres propiedades del territorio en las cuales pueden entenderse las configuraciones de la estructura espacial del mismo y los fenómenos físicos de flujos que actúan como dependientes y como condicionantes de esa estructura (Figs. 3 y 4).

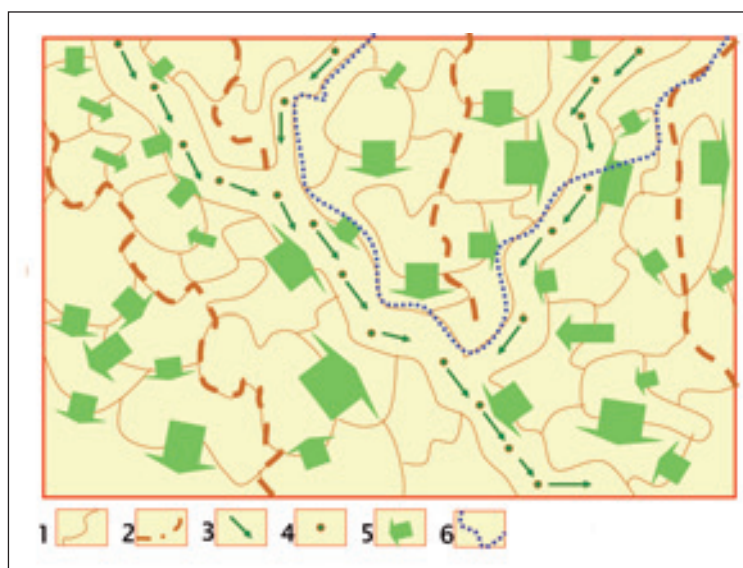


Figura 3. Estructura celular del territorio. 1: sistemas celulares (teselas); 2: límites de las divisorias de aguas que penetran en las células; 3: convergencias de flujos hídricos; 4: indicadores de altitud; 5: flujo laminar –la anchura de la flecha indica lentitud del flujo (infiltración) y su longitud la importancia de la pendiente–. Dos superficies equipotenciales (altitud, litología) se separan en el territorio por la línea azul de puntos (6). Basado en Solntsiyev⁽²⁶¹⁾.

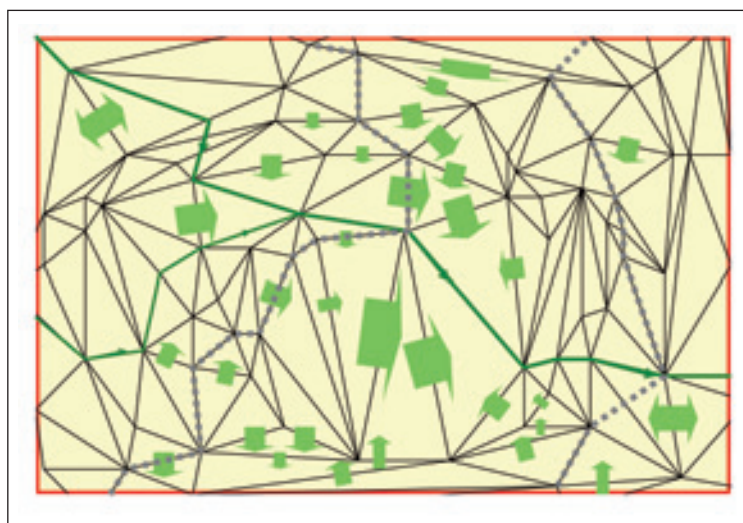


Figura 4. Estructura vectorial del territorio. Se muestran esquemáticamente los flujos laminares –flechas claras; su anchura indica la lentitud de circulación (infiltración superficial tanto más efectiva cuanto más ancha es la flecha) y su longitud (tanto mayor cuanto mayor es la pendiente por la que circula el agua)– y la convergencia en corrientes principales de agua –línea quebrada de flechas oscuras–. La estructura vectorial no se representa –los triángulos indican las direcciones de partida o de destino de los flujos–. Tres superficies equipotenciales (definidas, por ejemplo, por altitud o litología) aparecen separadas de izquierda a derecha con las líneas de puntos.

El tejido territorial se entiende así como un conjunto jerárquico de estructuras ligadas a procesos de flujo de materia y energía, por ejemplo, la «convexidad» de porciones homogéneas territoriales a una escala dada, generarían sistemas de dispersión de flujos y la «concavidad» sistemas de concentración de éstos, como las cuencas hidrográficas y algunos tipos de humedales. Aunque tales procesos pueden explicarse gracias a fenómenos abióticos como los descritos, también resultan dependientes de procesos biológicos. La sucesión ecológica y los fenómenos de acumulación de biomasa y materia orgánica producen ralentización de estos flujos y de los ciclos biogeoquímicos. Desde luego, fenómenos físicos como los comentados conectan unas porciones del espacio con otras, constituyendo una trama, y pueden ocurrir sin que necesariamente participe la vida (por ejemplo, algunos fenómenos locales implicados en el ciclo hidrológico, en el transporte de materiales laderas abajo, en la percolación de la lluvia y recarga de acuíferos, evaporación en humedales, alteración de la roca, insolación del sustrato, calentamiento del aire, transporte eólico de materiales y dinámicas del aire, mares y lagos), pero la vida –la biosfera– es, no obstante, el componente orgánico que tapiza esta trama y se apoya en esos fenómenos como el envoltorio de los cables de una máquina eléctrica, aportando propiedades ecológicas esenciales al conjunto. La vida se basa en la desviación de una ínfima parte de la energía de aquellos fenómenos físicos para formar biomasa. El crecimiento de ésta y su diversificación genética, morfológica y espacial actúan en la trama anterior modificando la velocidad de los flujos. Esta modificación afecta a la circulación del agua y el transporte de materiales, para los que la vida puede usar las mismas vías físicas (por ejemplo, la escorrentía de las laderas está relacionada con la humectación de la materia orgánica del suelo) o bien puede provocar vías nuevas (los aportes de oxígeno desde el agua al aire se deben a la fotosíntesis).

El suelo formado sobre el sustrato rocoso contiene sobre todo materia orgánica y humus que ralentizan el flujo de agua y materiales en las laderas y permiten mantener un caudal más uniforme en los ríos. Mantener este tipo de procesos ecológicos parece esencial para la gestión ambiental del territorio y es realmente la clave de la conservación de la naturaleza. En todo el mundo se producen continuamente cambios de uso del territorio que afectan a estos procesos a escalas locales, regionales y globales.

Los procesos ecológicos son numerosos y sus protagonistas son tanto físicos como biológicos. Algunos de estos procesos originan disposiciones de los materiales geológicos y formas del relieve que ofrecen paisajes que se consideran valiosos. Así, montañas, valles, costas, etc., pueden configurarse creando una atmósfera emocional que invita al ser humano a admirarlos, respetarlos y tratar de conservarlos. Otras manifestaciones naturales, de base biológica, como la diversidad genética, «ofrecen» a la sociedad humana especies singulares que esta sociedad considera particularmente dignas de protección, entendiéndose que son emblemáticas, dada la belleza, tamaño, rareza, de sus individuos, etc., y otorgándoles calificativos a veces toscamente formalizados, como especies «ingenieras», «claves» (sin sustitutas), etc., no debiéndose olvidar que las bases de la conservación de la naturaleza debieran ser siempre los procesos y que las especies son testimonios de ellos.

Este es el panorama donde se quiere conservar la naturaleza, explotar sus recursos de forma sensata y administrar ambientalmente el territorio. Para mantener la funcionalidad de las tramas ecológicas espaciales deben definirse unos límites «aceptables». La ciencia ecológica, que apenas puede establecer esos límites por el momento, trata de ayudar a vislumbrar umbrales para seleccionar un conjunto de factores que avisen de la cercanía de situaciones irreversibles no deseadas.

1.4. Problemas de formalización y aplicación de conceptos

Aplicar las ciencias biofísicas y sociales a la conservación de la naturaleza requiere importantes formalizaciones. Para muchas de ellas ni siquiera los naturalistas han unificado aún sus criterios. Por ejemplo, así como las ciencias médicas tienen aceptablemente claro el concepto de «salud»⁽⁶⁹⁾, la ciencia ecológica tropieza con dificultad para tenerlo^(45,159,226,227). Se utiliza, no obstante, el término «salud del ecosistema» y otros términos recientes, y se enfatiza el valor intrínseco de los recursos naturales dentro y fuera del mercado económico, de los servicios y de los bienes más o menos instrumentales^(32,55,225) –ver Daily⁽⁵⁰⁾, en otro contexto y perspectiva–, pero quizá se camine todavía más bien de forma voluntarista que de la manera fría y objetiva que debe perseguir la ciencia para que su aplicación en este campo tenga solidez.

La gestión de un territorio con la conservación *in mente* parece que, en general, pretende administrar el espacio y los recursos naturales que contiene manteniendo su «salud». Así, cualquier política que asignase funciones genéricas a ese territorio, previendo determinados usos y descartando otros, debería basarse en la salvaguarda de esa salud. Sobre esta base se perfilarían, promoverían o prohibirían ciertos usos. Se trata de algo parecido a los objetivos perseguidos por un entrenador deportivo con su alumno: perfeccionar la habilidad física de éste manteniendo su salud. Pero esto exige una formalización que sea convincente en el caso de los sistemas ecológicos. R. Costanza⁽⁴⁵⁾ entiende la salud del ecosistema como su capacidad para soportar a lo largo del tiempo un estrés generado desde el exterior. Esa capacidad se reflejaría en la estructura y funcionamiento del sistema. La definición, que no puede ser muy precisa, tiene interesantes precedentes en las ideas sobre estabilidad ecológica que muchos conservacionistas convencidos olvidan, probablemente porque sea más fácil el consenso popular sobre la conservación de la biodiversidad o «la naturaleza» que la ardua tarea de entender primero y llevar a la práctica después estas consideraciones^(118,119,126,144,146,164,168,195,228). Es obvio que debe precisarse la intensidad de esa influencia externa midiéndola, así como su severidad, de acuerdo con el cambio que generaría en la estructura y funcionamiento que pretende mantenerse. Causa y efecto pueden medirse experimentalmente aquilatando parámetros adecuados o bien llevándose a cabo estimaciones razonables^(103,179,224), pero no es muy común hacerlo cuando se planifican, generalmente con justificadas prisas, los usos del territorio con perspectivas ambientales.

Se precisa información sobre los parámetros que permitirían definir la estructura del sistema (biomasa, tasas de renovación, persistencia de la materia orgánica, diversidad biológica, etc.) y su funcionamiento (flujos energéticos y minerales, dinámica sucesional), así como de los umbrales de variación que permitirían hablar de «salud» (y, consecuentemente, de «enfermedad») del ecosistema. Esto no es fácil en la práctica^(106,126,227) y menos aún lo es tomar otras decisiones que difieran mucho de aplicar sencillamente lo que se considera el sentido común, y no es gratuito traer a colación consideraciones sobre el amor a la naturaleza⁽¹⁷³⁾, la conciencia ambiental del daño⁽²⁶⁹⁾, la importancia del mimo que debe ponerse en el uso de los recursos naturales^(18,21) o la visión que quiere ser más pragmática y popular de los *ecosystem services* de Cairns & Pratt⁽³²⁾, idea bien desarrollada y popularizada gracias a R. Costanza y otros^(43,47,48). A pesar de la importancia de todas estas consideraciones apenas se ha tratado todavía su incorporación sistemática, bien medida y tabulada, a planes y, sobre todo, a proyectos de desarrollo con horizontes de la pretendida sostenibilidad.

1.5. Sectorización del espacio

La gestión de los ENP se lleva a cabo sobre la base de la separación de estos lugares del territorio circundante mediante una frontera. A cada lado de ésta leyes y normativas tienen una aplicación condicionada por una política de usos prioritarios asignados a cada parte del territorio.

La idea de «frontera» está muy arraigada en la ciencia. Ayuda a separar las propiedades físicas y químicas a uno y otro lado de una superficie. La impermeabilidad de una frontera dificulta el entendimiento de ciertos sistemas complejos, de manera que sobre la idea de frontera se ha trabajado también para explicar determinados tipos de flujos e incluso para formalizar fenómenos de organización a lo largo de gradientes (así, la idea del «diablo de Maxwel»). Ecólogos y geógrafos, que entienden realmente el territorio como un tejido vivo, han dedicado atención a las fronteras (ecotonos, ecoclinas, picnoclinas), resaltando sobre todo el interés de la asimetría y la importancia de las transferencias a través de éstas^(34,61,99,215,276,161,162,165).

La «fragmentación» del paisaje también ha recibido mucha atención de los biólogos conservacionistas. Con frecuencia, ésta se ha considerado una amenaza importante para la «integridad» del funcionamiento del paisaje. Sin embargo, a pesar de su importancia puede decirse que apenas ha empezado aún a desarrollarse el análisis de esta amenaza⁽⁷⁶⁾. La fragmentación suele referirse a la generación de porciones de comunidades biológicas de fisión dada que se identifican como «ecosistemas» y que antes abarcaban superficies mayores. Las interesantes ideas de insularidad de McArthur & Wilson^(169,170) se han incorporado apenas a esta idea, a pesar de su gran alcance. Básicamente la fragmentación introduce la idea del impedimento a la permeabilidad de frontera entre fragmento y entorno y, por tanto, de la dificultad para el mantenimiento de los flujos. En relación con la integridad, lo que la fragmentación genera en el paisaje es en realidad otro tipo de funcionamiento que, dependiendo de qué aspecto o fenómeno ecológico sea considerado, puede considerarse deseable o no. Llevar estas ideas al plano de la conservación requiere especificar qué funcionamiento es el que se desea preservar y su trascendencia, algo que es más difícil de precisar que si fuera meramente la biodiversidad lo que se deseara preservar, lo que no es poco⁽¹⁷¹⁾.

1.6. Contexto para la conservación de la conectividad

Las sociedades humanas tienen muy arraigada la percepción del entorno de forma cartesiana. Se elaboran mapas como referencia para abarcar el mundo, para viajar y para moverse diariamente. Se conciben las ciudades con espacios comunes, como calles, plazas y jardines, pero la gente vive en sus casas, que suponen una perfecta delimitación del espacio cartesiano y una fragmentación horizontal y vertical de éste. El mundo rural se percibe como un conjunto de parcelas de mayor o menor extensión que corresponden a espacios silvestres o culturales, públicos o privados, dentro de cuyos límites se actúa en consecuencia con esos caracteres. Se crean espacios protegidos delimitándolos en el territorio. Pero las consideraciones que contienen los apartados anteriores invitan a pensar seriamente en la idea de «tejido territorial». La importancia del tema es grande si se tienen en cuenta los cambios socioeconómicos y, en consecuencia, de paisaje que ocurren en algunos países que han dado recientemente un salto tecnológico notable. La incorporación de España y Portugal a la UE es un ejemplo de esto. Así que es oportuno hacer las consideraciones siguientes⁽²⁰⁶⁾:

- Aunque la conservación de la naturaleza se basa mucho en la delimitación de espacios protegidos, muchos procesos ecológicos dependen de dinámicas horizontales que conectan unas porciones del espacio con otras vecinas o muy alejadas entre sí^(15,16,24,33,34,99,101).
- La importancia de estos procesos trasciende a los objetivos de conservación en esos espacios y afecta a la funcionalidad de todo el territorio. Si se reconoce el interés de conservación de un área concreta, esa funcionalidad afecta al menos a su entorno inmediato. Las llamadas zonas de amortiguación que rodean a los espacios protegidos no deben seguir siendo meros «colchones» sino que deben incorporar en su gestión el mantenimiento de fenómenos y procesos esenciales de conectividad^(40,127,158). Es ilustrativo el ejemplo de esta idea ofrecido por el entorno no precisamente inmediato del Parque Nacional de Doñana, situado en la provincia de Huelva, al SW de la Península Ibérica, cuando en 1998 se rompió una presa de residuos tóxicos de una mina de pirita en Aznalcóllar (en la provincia de Sevilla). Representa un ejemplo entre muchos que fue famoso por la popularidad del sitio.
- Esas dinámicas están aún poco formalizadas y cuantificadas, sobre todo a escalas comarcales. Existe, no obstante, un notable desarrollo del estudio de la funcionalidad de las cuencas hidrográficas con planteamientos ecológicos. Muchos estudios de cuencas, a escalas de diferente detalle, constituyen excelentes ejemplos de formalización del funcionamiento del tejido territorial^(71,93,142,151).
- Las grandes infraestructuras humanas vienen condicionando notablemente la evolución socioeconómica y ésta, a su vez, condiciona directamente la estructura de muchos tipos de paisajes^(163,247).
- La interferencia entre la dinámica ecológica horizontal y las infraestructuras humanas, así como la de ambas con los cambios socioeconómicos que sufre actualmente la población humana, debe evaluarse en términos ambientales, integrando perspectivas ecológicas, sociológicas y económicas. La proyectada ampliación de la red de carreteras 2000-2025 de todo el territorio español tiene una gran relevancia en este contexto y constituye un ejemplo de la mencionada interferencia^(56,109,254).

1.7. Caracterización de la conectividad vertical

Uno de los procesos socioculturales que en la actualidad implican un mayor condicionamiento del paisaje es el desarrollo de infraestructuras humanas como las que acaban de ejemplificarse con las vías de transporte. La interferencia de estas infraestructuras con la malla o tejido ecológico territorial tiene carácter «horizontal» y genera tensiones localizables en el territorio que pueden considerarse negativas o positivas. Más adelante se presentará un estudio de casos de esta interferencia expresada cartográficamente. En el territorio existe también otra interacción considerada «vertical» entre sociedad humana y paisaje que puede ser formalizada (Fig. 1a₁, b₁). La formalización puede contemplar cómo la organización secular del paisaje cultural se ha basado en la imitación y mantenimiento de procesos ecológicos esenciales para la supervivencia y bienestar humanos. Tales procesos han sido históricamente reconocidos como componentes de un capital natural del que depende la propia economía^(21,28,95). La permanencia de la población local ha sido vital para mantener sistemas tradicionales con-

siderados valiosos por su agricultura, silvicultura, ganadería y caza. En las últimas décadas el paisaje cultural resultante viene sufriendo drásticos cambios bien apreciables en el Mediterráneo. Este paisaje, resultado de políticas de gestión que cambian con circunstancias socioeconómicas y políticas, se transforma cuando éstas también cambian. Así, con la incorporación de países nuevos a la Unión Europea, el cambio socioeconómico es evidente y su influencia en el paisaje debe ser conocida y formalizada. En España y Portugal, por ejemplo, la agricultura se ha industrializado y, paralelamente, algunas comarcas, cada vez más numerosas por ahora, se han abandonado⁽²⁸¹⁾. Es oportuno analizar la correspondencia entre los planos socioeconómico y paisajístico para conocer las variables determinantes de su interdependencia y plantear escenarios. Así, en trabajos previos al presente libro^(54,247) se ha expresado la correspondencia canónica entre la estructura socioeconómica y paisajes culturales sujetos a dinámicas dependientes de cambios simulables en esa estructura. Basados en esta correspondencia es posible estimar cambios en el paisaje que pueden resultar de la simulación de diferentes escenarios de cambio socioeconómico. Así, los municipios de una región pueden constituir unidades de referencia donde la información socioeconómica registrada puede relacionarse con la estructura que muestra el paisaje cultural en esos municipios.

a) Estructura del paisaje. Para estudiar sistemáticamente la interdependencia entre paisaje y socioeconomía debe partirse de mapas ecológicos elaborados también sistemáticamente, mediante tipificación y caracterización de sectores territoriales. Puede seguirse el criterio de obtener grupos de paisajes internamente homogéneos y con máxima disimilitud entre ellos, respecto a un conjunto de variables ambientales consideradas como significativas^(60,62), describiéndose así, integrada y jerárquicamente, un territorio dado. En los estudios de casos aquí comentados se ha desarrollado un procedimiento exploratorio de las relaciones multivariantes de conjuntos de variables que se manifiestan a diferentes escalas espaciales, basado en el concepto ecológico de la organización jerárquica de los sistemas naturales. Así se han considerado y analizado diferentes tablas de datos territoriales, vinculadas espacialmente, que describen la variabilidad de una región a diferentes niveles jerárquicos.

La obtención de matrices de este tipo requiere la incorporación previa de conjuntos de datos de partida a un sistema de representación espacial georreferenciado⁽⁷⁾, que permita la superposición e integración de la información temática. Pueden obtenerse así mapas vectoriales de partida, compuestos por polígonos cualitativamente diferentes en cuanto a su composición de variables. Para cuantificar esta información pueden utilizarse rejillas en cuyas celdas puede anotarse el porcentaje de cobertura de las variables descriptoras consideradas. Se obtienen así matrices de datos cuantitativos formada por numerosas cuadrículas o unidades mínimas territoriales y docenas de clases de variables temáticas.

El procedimiento de cálculo aplicado por diferentes autores utiliza de forma complementaria y sucesiva las técnicas factoriales y de clasificación⁽²⁶³⁾. En una etapa previa a la clasificación, un estudio de caso comentado mas adelante (apartado 3.3) parte de un análisis multivariante de ordenación, cuyos primeros ejes o componentes se someten a un análisis de clasificación jerárquica aglomerativa. La selección del número adecuado de ejes que se utilizan para aplicar los algoritmos de clasificación se basa en la cantidad de información acumulada. La medida de similitud utilizada para descubrir la estructura de las homogeneidades contenidas en los conjuntos de datos ha sido el método de agregación de J. Ward⁽²⁸⁵⁾.

La jerarquía de las relaciones ecológicas del territorio exige un primer análisis a partir de variables climáticas, que permita sectorizar y describir el territorio considerando la combina-

ción de diferentes variaciones de temperatura, precipitación, evapotranspiración, nubosidad, etc. Los sectores climáticos así obtenidos pueden ser a su vez analizados individualmente atendiendo ahora a sus características litológicas, geomorfológicas y edáficas. La nueva sectorización puede sucesivamente analizarse contemplando su variación topográfica (altitud, pendiente y orientación). Por último, el conjunto de subsectores obtenidos puede ser descrito biológicamente, por medio de variables de vegetación, usos del suelo y comunidades faunísticas, descriptoras todas ellas de las características ecológicas de la sectorización previa, que estaba condicionada por la variabilidad geótica. Estos mapas permiten disponer de una cartografía jerárquica del territorio, con diferentes sectores ecológicamente homogéneos integrados a distintas escalas espaciales.

b) Interdependencia paisaje-socioeconomía. Para analizar y formalizar esta interdependencia (Fig. 1a₁, b₁), el paisaje cultural puede estudiarse seleccionando las variables territoriales más directamente relacionadas con el manejo del territorio, eliminando otras que, aunque son buenos indicadores de la estructura del paisaje, no dependen de los usos humanos (litología, geomorfología o variabilidad climática). Debe diferenciarse entre áreas calificadas como ENP y la «matriz» territorial, consiguiéndose datos de un número importante de municipios, de los cuales algunos pueden pertenecer total o parcialmente a espacios protegidos y otros no, mas o menos adyacentes a ellos, con objeto de utilizar el análisis también para hacer comparaciones entre unas comarcas (oficialmente protegidas) y otras.

Las características del paisaje de los municipios, descritos mediante análisis multivariantes de ordenación, permiten ordenarlos en un plano cuyas dimensiones son funciones de las variables espaciales más representativas o de mayor peso en el análisis. Estas dimensiones representan las principales tendencias de variación de la tipología de paisajes del territorio.

Para formalizar la relación paisaje-socioeconomía, se han mostrado efectivos los procedimientos desarrollados en Schmitz *et al.*⁽²⁴⁷⁾ y De Aranzabal *et al.*⁽⁵⁴⁾, que permite obtener un modelo de dependencia con un número limitado de variables socioeconómicas que, según la bondad de ajuste obtenida, pueden explicar gran parte de la variación de la estructura del paisaje. Estas variables son las que mejor relación guardan con la configuración del territorio. Su importancia viene dada por los coeficientes de regresión calculados.

Las coordenadas de los municipios en los dos primeros ejes de un plano de ordenación, obtenido a partir del análisis de la estructura del paisaje, pueden tomarse como variables dependientes en un modelo de regresión múltiple por pasos, en el que las variables independientes sean descriptores socioeconómicos municipales.

El modelo de ajuste entre las variables sigue la expresión general:

$$y_i = a + bs_1 + cs_2 + ds_3 + \dots + zs_n$$

donde y_i representa la tendencia de variación del paisaje, a la intercepción, s_i las variables socioeconómicas y b, c, d, \dots, z los coeficientes de regresión obtenidos.

Puede obtenerse así una ecuación de regresión para cada eje calculado. Cada una de estas ecuaciones proporciona el número óptimo de variables socioeconómicas, su importancia y signo en la variabilidad paisajística descrita, para estudiar la interdependencia, usándose como unidades a los municipios.

Capítulo 2

REDES DE INFRAESTRUCTURAS ARTIFICIALES

2.1. Interferencias malla ecológica-infraestructuras artificiales

Se admite que la actividad agraria tradicional ha creado una estructura rural secularmente integrada en las tramas ecológicas naturales⁽²¹⁾. Esto no parece así en el caso de las modernas infraestructuras viarias, que con frecuencia se muestran ajenas a los paisajes naturales y culturales que atraviesan. Es patente que, en la forma en que vienen proyectándose, causan serias disrupciones en el funcionamiento ecológico, lo que resulta además antieconómico. En territorios con paisajes eminentemente culturales, como es el caso de la cuenca mediterránea, pueden diferenciarse «nodos» –puntos desde donde divergen (o convergen) los flujos que definen la conectividad territorial– constituidos por localidades o comarcas con relativo buen estado de conservación. Superpuesta a los nodos e integrada con ellos existe una «matriz» territorial agraria, urbana e industrial. Los nodos contienen bosques, montañas, humedales, ambientes esteparios, etc. Se cuenta con diferentes figuras de protección para numerosos espacios de este tipo y el territorio mantiene un importante conjunto de zonas consideradas «reservorios de biodiversidad»⁽²⁶²⁾. Pero, no obstante, no se trata sólo de trazar las carreteras bordeando estos sitios porque contengan esos valores, sino que las infraestructuras deben evitar generar disfunciones serias en las conexiones del tejido territorial.

En principio puede aceptarse que en la trama ecológica territorial destacan «corredores», en general fácilmente apreciables a vista de pájaro, como sistemas fluviales, ciertas estructuras lineales, cuerdas montañosas, etc., que son frecuentemente consideradas como pasillos para la fauna, (Figs. 5, 6, 7). Estos corredores pueden consistir en reticulados locales, como setos de separación entre parcelas agrícolas o cuarteles de pastos (Fig. 11)⁽²⁵¹⁾. Los principios y perspectivas en que se basan este tipo de consideraciones sobre la conectividad tienen casi siempre como protagonista el movimiento de la fauna a través de la estructura ofrecida por un entramado que generalmente tiene origen cultural tradicional y que permanece presente en una matriz territorial agraria, con frecuencia considerada «hostil» para esa fauna.

Pero además de estos corredores importan otros procesos de apreciación a veces más difícil, no traducibles a pasillos lineales, sino a fenómenos más bien laminares, como la circulación hidrológica subsuperficial o subterránea, el transporte de nutrientes en laderas (Figs. 8 y 9), el transporte promovido por el viento (Fig. 10) o la dinámica rural propia del funcionamiento del paisaje cultural tradicional del tipo ya citado y ligadas a fronteras asimétricas, mi-

graciones y trasiegos biológicos de interés para la conservación de la biodiversidad. En estos casos, dados los ajustes seculares tan finos que mantienen los sistemas rurales con la biodiversidad (Figs. 11, 12 y 13), el interés actual es muy alto. Estas interconexiones pueden estar relativamente bien conservadas en algunos casos, pero en muchos otros se desconoce su estado, la importancia real de su funcionalidad y su trascendencia. El presente libro trata de llamar la atención sobre esta concepción de la conectividad ecológica que, tal como se ha desarrollado aquí, es paralela a la idea de los corredores biológicos.

Cuando los nodos son espacios protegidos, en la práctica su conservación está ligada a su utilidad educativa, recreativa, turística y de investigación científica, lo que facilita la protección oficial con que cuentan. Sin embargo, las actividades de desarrollo pueden afectar a sus interconexiones, aunque la localización espacial de estas actividades mantengan notables distancias cartesianas con estos nodos. Es pues necesario fundamentar mejor las directrices para la conservación en los espacios protegidos. Sin duda urge definir y caracterizar los «puntos de tensión» entre red ecológica y red viaria. Tipificar primero y cuantificar después la conexión ecológica requiere seleccionar parámetros ecológicos y medir su importancia en condiciones naturales y en relación con la red viaria. Se necesita investigar metódicamente el tema a escalas regionales y locales, pasando de estudios experimentales a pilotos y a la realidad de la gestión territorial. El mantenimiento de las redes naturales es, además, muy importante para la propia economía humana.

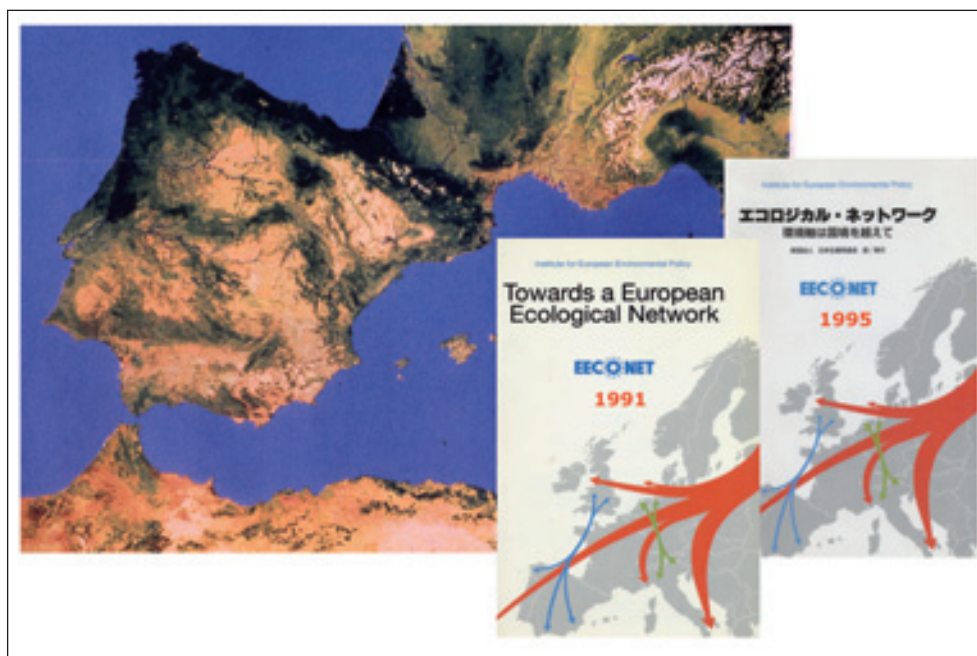


Figura 5. El proyecto European Ecological Network –EECONET, Bennett⁽¹⁵⁾– se dirigía directamente a las administraciones europeas con el objeto de comunicar la idea de que los corredores biológicos debían constituir un objetivo de conservación que enriqueciera la idea de delimitación de espacios protegidos. Se publicaron versiones en 1991 en varios idiomas europeos, aunque no en español. En 1995 hubo una versión en japonés.



Figura 6. Las cuerdas o divisorias montañosas y otras estructuras lineales más o menos inaccesibles pueden constituir corredores en los trasiegos animales.



Figura 7. Junto a los cauces de los ríos y en laderas de cierta pendiente no cultivables se mantienen espacios montaraces lineales que pueden actuar de corredores en comarcas donde el medio agropecuario puede considerarse «hostil», al menos a la luz del día.

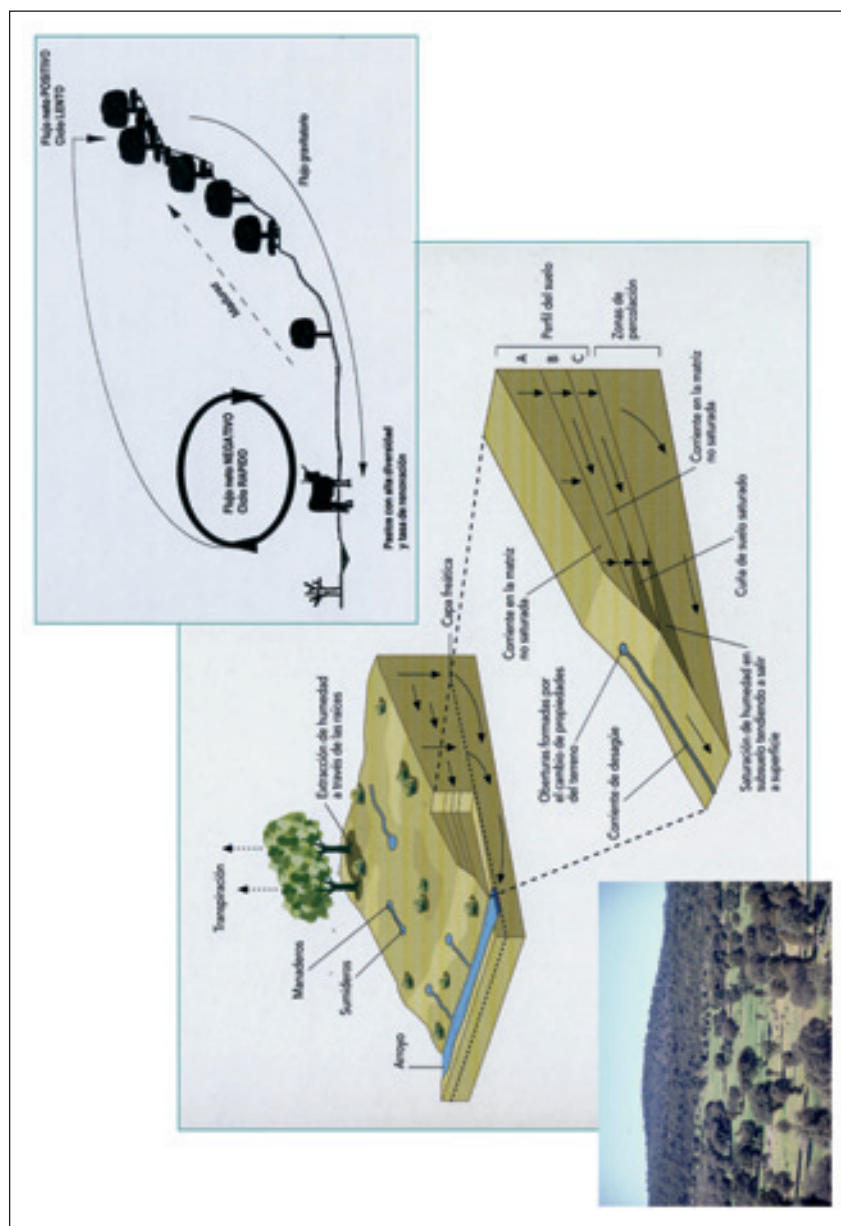


Figura 8. Aunque las cuencas hidrográficas son sistemas unitarios, pueden considerarse formadas por unidades elementales que son las laderas. El tamaño de éstas puede ser muy pequeño o bien constituir extensiones muy patentes. En ambos casos se conducen los flujos de agua y otros materiales hacia los cauces. En la región mediterránea es frecuente que los sistemas de baja tasa de renovación y acúmulos importantes de biomasa ocupen las zonas altas de ladera y los más fértiles, con elevada tasa y menos capital de biomasa, las zonas bajas. Se muestra el diagrama simple de un sistema de ladera con los fenómenos físicos esenciales ligados al ciclo local del agua^(259,291) y transferencia de materia⁽⁹⁹⁾.

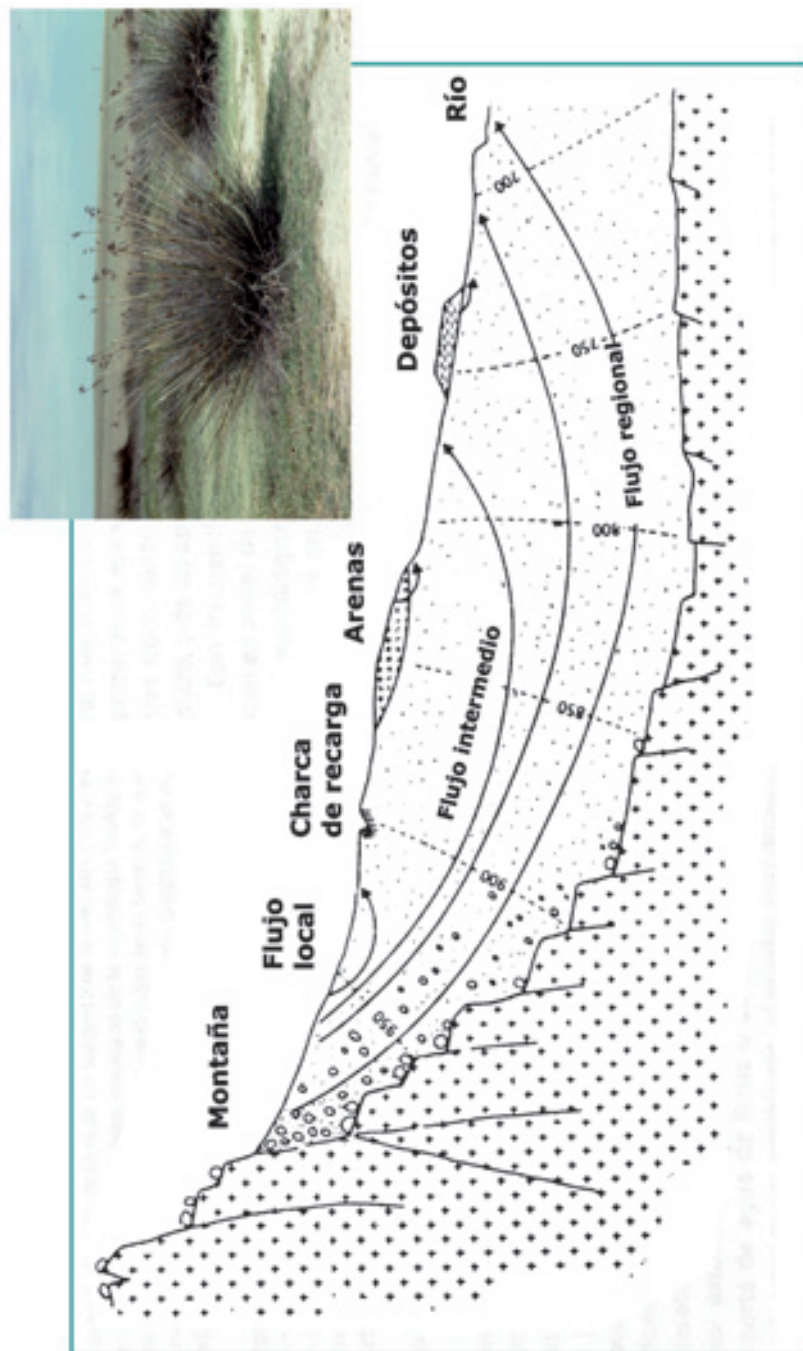


Figura 9. Arriba, humedal con *Juncus acutus*, una halofita indicadora de conexiones regionales de la circulación subterránea del agua, y *Scirpus holoschoenus* (al fondo), una glicofita indicadora de descargas subterráneas locales del agua. El diagrama conceptual^(24,25) muestra los flujos subterráneos de agua y su afloramiento tras largas y lentas trayectorias (flujo regional) o tras recorridos más cortos (flujo subterráneo local). La mayor parte del fenómeno constituye la «cara oculta» del ciclo del agua⁽²⁴⁾. La formación de humedales hipogénicos es una parte visible de este ciclo.

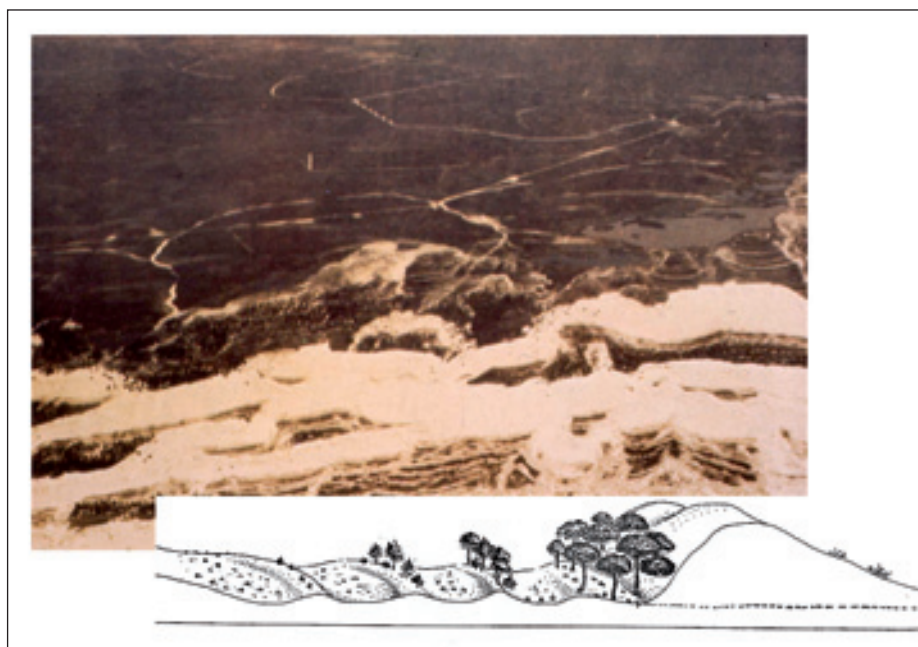


Figura 10. Sistema de dunas costeras y espacios interdunares del Parque Nacional de Doñana, cerca de Huelva. El avance de las dunas por deposición de arena marina se produce desde la playa hacia el interior. El dibujo, de F.G. Bernáldez⁽³⁾, muestra el avance dunar de derecha a izquierda. La duna de la izquierda ha pasado recientemente y, tras ella, tiene lugar la colonización del sustrato arenoso por especies propias del comienzo de la sucesión ecológica. La duna de la derecha está ya sepultando el bosque de *Pinus pinea*, que representa la etapa más madura de la sucesión que la anterior duna interrumpió varias décadas atrás. La conectividad del fenómeno viene determinada por un componente climático (el viento), otro litológico (la movilidad del sustrato) y otro ecológico (la colonización del sustrato y avance de la sucesión con el tiempo).

El sistema constituido por la actual red de infraestructuras de ingeniería civil y la trama ecológica puede descubrir «zonas sensibles», donde la ruptura de funcionalidad sería más evidente. Esta ruptura se puede resolver de distintas formas según la funcionalidad afecte a la trama artificial (por ejemplo, construyéndose un puente en un cruce de carreteras) o a la natural (facilitando la permeabilidad de la carretera). La ya citada ampliación de la red de transporte ibérica invita a analizar sistemáticamente estas circunstancias¹.

¹ Tras la ampliación de la Unión Europea hacia el Este, España ocupa una situación algo más periférica en la Unión. Esto explica un aumento de las relaciones comerciales y una mejora de sus conexiones. Por ello, la proyectada ampliación de la red de transporte invita a este análisis. Las infraestructuras de transporte tienen como efecto la vertebración humana del territorio, configuran áreas centrales y periféricas y promueven el aumento de los desequilibrios poblacionales. Contribuyen también a reducir o a aumentar en otros casos, los desequilibrios en accesibilidad. La tendencia suele ser el mayor beneficio de las zonas más desarrolladas. Son impulsoras del desarrollo económico y de la competitividad como instrumento de la cohesión económica y social, pero por sí solas no garantizan el crecimiento económico. En zonas más desarrolladas, las infraestructuras se sitúan en una posición de complementariedad, debiéndose justificar mejor el coste de oportunidad de las nuevas. La rigidez en las inversiones con una larga vida útil –y sus externalidades asociadas– dificultan la estimación del cociente coste/beneficio. Siguen sin internalizarse los costes ambientales de las infraestructuras. En el conflicto entre accesibilidad y preservación del medio –el control de acceso a determinadas zonas y recursos– prima actualmente el primer concepto, como instrumento de medida del potencial de desarrollo regional, así como el aumento del mallado de la red para reducir el área de las «zonas desenclavadas».

Existen conexiones territoriales de importancia desconocida tanto a escala local como regional. Para conocer su importancia se necesitan criterios de base conceptual y aplicada. Estos criterios podrían ser, entre otros, los siguientes: i) de carácter geomorfológico (tipología de pendientes y cuencas), ii) de tipo edáfico (humificación, capacidad de humectación del suelo), iii) de tipo hidrológico (funcionamiento de cuencas, circulación y descarga subterránea), iv) de tipo biogeoquímico (dinámica de nutrientes en ladera), v) de carácter mesoclimático (vientos dominantes, fenómenos *föhn*, momentos en que tienden a ocurrir las lluvias), vi) de tipo biológico (diferentes tipos de migraciones y ritmos, influencias de la fragmentación de hábitat), vii) de carácter rural (manejos agrarios que suponen trasiegos de agua, nutrientes y materiales diversos, vías pecuarias).

La caracterización de las redes natural y artificial debe detectar las citadas zonas sensibles, que requerirá un análisis descriptivo de las infraestructuras actuales y proyectadas (vías, embalses, puertos) y la probable envergadura de su incidencia en las redes naturales. La dinámica hidrológica superficial suele considerarse en casos de intercepción de trazados con cauces fluviales, torrenteras y cárcavas o ramblas evidentes (construcción de pasos de agua a través de terraplenes, etc.), pero también merecen análisis detallados otras situaciones en que

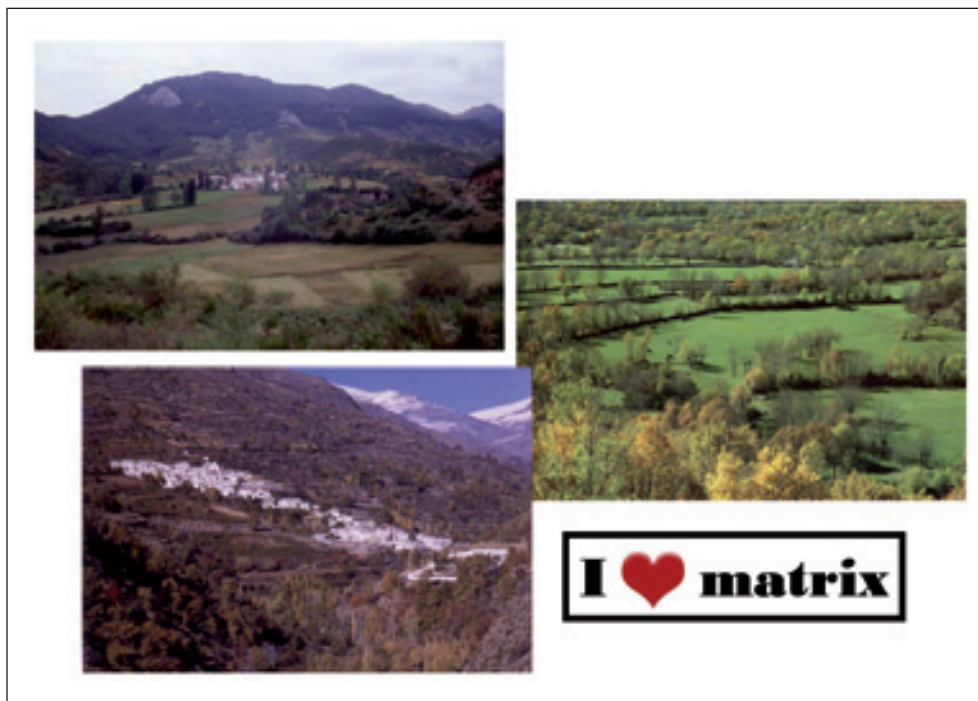


Figura 11. Ejemplo de paisajes culturales rurales tradicionales. Comarca de Somiedo (Asturias), arriba. Tramas de setos y mosaicos agrícolas en el entorno de un pueblo de la Alpujarra (SE de España), abajo a la izquierda. A la derecha, pastos de siega en la falda de la Sierra de Guadarrama (Centro de España). La conservación de la naturaleza constituye un compromiso con los fenómenos naturales y culturales que configuran el territorio: la matriz territorial donde transcurren actividades humanas de diferentes tipos, no sólo con los espacios oficialmente protegidos por su carácter silvestre. El logo es una idea C. Castell⁽³⁵⁾ comunicando el interés de contar con este paisaje en la ordenación del territorio.

Redes de infraestructuras artificiales

Figura 12. La cultura vetónica y los sucesivos pobladores de la Península Ibérica ha formado parte de su historia agropecuaria y constituido un elemento clave de configuración del paisaje rural.

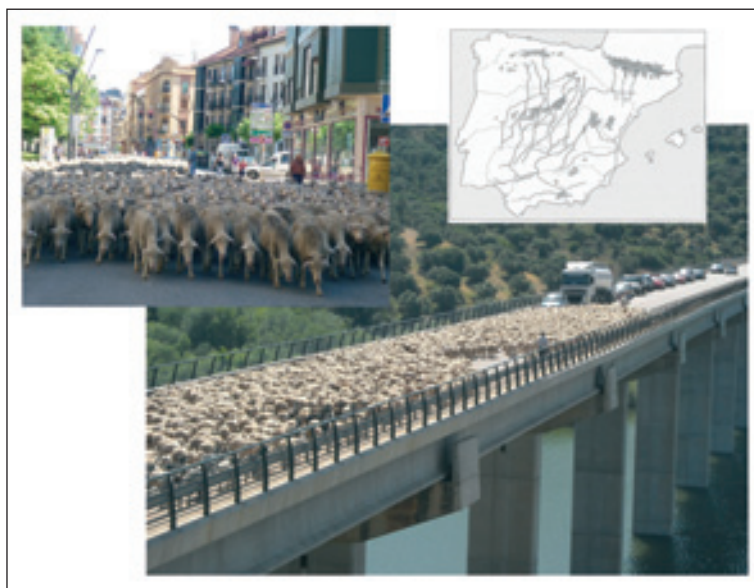


Figura 13. Red principal de vías pecuarias de la Península Ibérica (cañadas reales). Atraviesan latitudinalmente regiones que en el clima mediterráneo suponen cambios estacionales defasados entre el invierno y el verano. En la actualidad esta red sigue constituyendo un importante almacén de la estructura ecológica conectiva del territorio.

Constituye una actividad ganadera residual que, aunque por el momento es de difícil recuperación, tiene un enorme atractivo económico, conservacionista, educativo y turístico cultural. En las fotos más de dos mil ovejas atraviesan Aranda del Duero en el mes de Julio y cruzan un puente moderno sobre un embalse que inundó una cañada real (www.pastos.org).

los flujos de agua se encuentran interceptados. Así, los sitios de conexión de amplias laderas –que actúan como cuencas de recepción– con zonas planas húmedas más o menos permeables, pueden quedar privados de suministro laminar de agua o de su dinámica hiporreica. Estas zonas planas pueden ser humedales poco evidentes –«criptohumedales»^(20,24)–. Debe insistirse en la importancia de la circulación subterránea (recargas y descargas de acuíferos). Desde el punto de vista hidrológico, la mejor carretera sería la que «no tocara el suelo», por elevarse en su trazado teórico sobre pilotes y pontones².

El interés de incorporar consideraciones ambientales a la planificación de infraestructuras, desarrollo de proyectos constructivos, su explotación y su mantenimiento es evidente. Las infraestructuras pueden ser realmente integradas en el territorio como lo están los usos tradicionales, minimizando sustancialmente los costes ambientales y aprovechándose su trazado para mejorar el mantenimiento de muchos sistemas rurales valiosos. Se trata de que las continuas ampliaciones de cualquier red viaria no afecten, o afecten poco, a los factores y procesos mencionados. Estas ampliaciones deben considerar estos aspectos en pasillos de trazado teórico lo suficientemente anchos como para evaluar el problema y establecer alternativas que minimicen su interferencia –las habituales alternativas lineales realmente no valen de mucho–.

La Figura 14 sintetiza algunos efectos primarios de las infraestructuras mencionadas (pérdida y transformación de hábitat, mortalidad debida a atropellos, depredación, efecto barrera y de rechazo de la zona alterada, perturbación debida a la contaminación y «efecto borde», accidentes con materias peligrosas e incendios, presencia de visitantes, dispersión de especies; todos los cuales contribuyen a una temida «fragmentación del hábitat»)^(236,277).

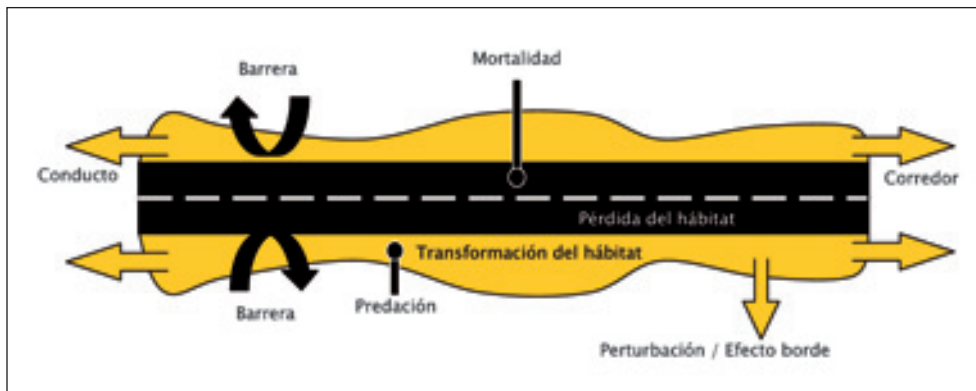


Figura 14. Esquema de Van der Zande *et al.*⁽²⁷⁷⁾ sobre los efectos biológicos primarios de las carreteras. Ver Rosell *et al.*⁽²³⁶⁾.

² En 1928 se construyó la carretera Miami-Naples, Florida (USA), atravesando el actual Parque Nacional de los Everglades e interrumpiendo la circulación del agua superficial en este ecosistema. Presionada por grupos conservacionistas y consciente del deterioro, la Administración norteamericana comenzó a restaurar en 2009 esta perturbación, construyendo una vía elevada de más de 15 km de longitud para evitar el corte del flujo hidrológico natural, propiciar la recuperación de buena parte del funcionamiento de las comunidades biológicas del área y de importantes componentes del paisaje apreciable, al menos, desde la carretera.

Corredores y procesos horizontales. Los estudios de ecología del paisaje suelen recurrir a los fenómenos de escala y diferenciar conjuntos de procesos comprendidos dentro de otros de mayor rango, aunque en realidad no existe separación jerárquica alguna entre ellos pues los fenómenos físicos actúan de forma vertical, horizontal y sincrónicamente^(101,221). Así, el aumento progresivo de escala en la percepción territorial, permitiría encontrar el detalle que debe condicionar el trazado de una red viaria considerando las conexiones territoriales naturales. De la misma forma que aspectos tales como la distribución espacial de sustratos inestables o expansivos condicionan técnicamente un trazado, deben tenerse en cuenta también las citadas conexiones, sean de dimensión internacional (Europea, Europea-Africana, prestando atención, por ejemplo, a las migraciones animales), regional (dinámica ríos-estuarios, trashumancia), comarcal (montañas-laderas-valle) o local (trasterminancia, dinámicas de ladera).

La funcionalidad de las conexiones es bien apreciable en ciertos componentes de la fauna, cuyas áreas de reproducción y alimentación ocupan regularmente determinados lugares pero sus necesidades de dispersión y colonización dependen de la existencia de corredores entre éstos. La importancia de estas conexiones viene dada por la superficie de las zonas consideradas como nodos, la distancia entre nodos equivalentes –para según qué procesos, por ejemplo, las conexiones animales son diferentes de las derivadas de los flujos hídricos– y la naturaleza del ambiente o matriz que rodea a nodos y corredores –por ejemplo, un ambiente hostil dificultaría la interacción–. Con frecuencia se piensa que las conexiones basadas en corredores tienen sobre todo un soporte sólido (el terreno), pudiendo identificarse como superficies más o menos continuas, de forma alargada, como los bosques de galería, pero también pueden ser zonas discontinuas relativamente alejadas entre sí, como ocurre con los terrenos de infiltración y recarga de aguas subterráneas y los sitios donde esta agua descargan (humedales de distintos tipos) –estos casos no tienen que responder a una estructura de pasillo continuo, al menos en la superficie del territorio–.

Teniéndose en cuenta las observaciones anteriores se comprenden bien las ventajas que podrían tener bajo la perspectiva de la conservación de la naturaleza el mantenimiento de espacios que contengan corredores como los siguientes^(209,218):

- Espacios relativamente silvestres. Determinadas extensiones de «monte» mediterráneo y otros tipos de formaciones forestales que conservan ciertas especies emblemáticas (oso, lobo, lince, etc.) cuya supervivencia depende de conexiones a lo largo de territorios extensos. Muchos hábitats relictos constituyen ejemplos de los peligros de extinción que sufren algunas de estas especies. Como se ha dicho, hoy en día la conservación de la naturaleza encuentra el gran reto del mantenimiento de estos espacios con la idea básica de la conexión interterritorial^(85,167,170,236,277) (Fig. 5).
- Estructuras lineales de distintos tipos, como cerros, montañas y cuerdas o divisorias de las principales cadenas montañosas y pasillos con ciertos acúmulos de biomasa y estructuras vegetales más o menos complejas. En los casos de montaña, la dificultad del acceso humano termina manteniendo relativamente aislados a estos sitios, por donde pueden trasladarse animales sensibles a ruidos y trasiegos humanos (Figs. 6 y 7).
- Red hidrográfica convergente en cauces y sistemas riparios formados por bosques y otras formaciones propias de sotos más o menos desarrollados (Fig. 7). El vector de conexión territorial es claramente el agua, tanto la que fluye a lo largo del río como la dre-

nada a lo largo de las laderas que configuran cada cuenca hidrográfica (Fig. 15). A lo largo de los ríos, los bosques de galería, en los sitios donde se mantienen, contribuyen a este entramado y pueden actuar también como corredores⁽²⁶⁵⁾.

- Sistemas de ladera peculiares, que mantienen ambientes montaraces y agrarios integrados. La conexión es vectorial, está determinada por el flujo de agua y materiales desde las zonas de exportación en las partes altas de ladera a las bajas. En el paisaje tradicional las partes altas contienen sistemas más maduros, como bosques y matorrales, con menor tasa de renovación *–turnover–* y una elevada persistencia de la materia orgánica en el suelo. Estas partes pueden actuar como fertilizadoras naturales de las partes bajas de ladera (Fig. 8).
- Sistemas discontinuos de recarga y descarga de aguas subterráneas. Humedales hipogénicos. Pueden ser observados más claramente en los extensos territorios de las cuencas sedimentarias de los grandes ríos (Fig. 9). Se trata de un fenómeno físico de conexión que se encuentra entre los de mayor interés en el funcionamiento del tejido territorial, aunque no se trate de estructuras fácilmente visibles en el territorio *–Bernáldez et al.^(19,24,25,230)–*. Queda aún mucha tarea pendiente en la toma de conciencia sobre la incorporación de estas ideas a la conservación de la naturaleza^(120,150,204).
- Sistemas de dunas móviles, deltas y sistemas de marismas de distintos tipos. Su mantenimiento depende de fenómenos esencialmente físicos, y también a procesos ecológicos sucesionales. Son características de gran interés para transmitir la idea de que la conservación compromete al mantenimiento de determinados tipos de fenómenos muy comúnmente ligados a la conectividad y que la biodiversidad es una consecuencia de ellos (Fig. 10).
- Comarcas con patente implantación de sistemas agrarios de base tradicional, con reticulados a base de setos y ribazos^(21,251). La trama rural de cada comarca guarda relación con la estructura socioeconómica de sus municipios: aquélla se refleja de alguna forma en esta estructura y viceversa⁽²⁴⁷⁾, por tanto, la caracterización de las conexiones debe incorporar parámetros de este tipo. Las conexiones espaciales las proporciona la propia dinámica de la gestión agraria (movimiento del ganado, trasiego de materiales y animales, abonados, etc.; Fig. 11).
- Red de vías pecuarias («cañadas», «cordeles», «veredas»). Estructuras lineales que son de propiedad pública en el territorio español y en otros donde aún se mantienen estos antiguos caminos ganaderos (Figs. 12 y 13). Probablemente no actúen como auténticos corredores, sino más bien como refugios para organismos expulsados de campos de cultivo y terrenos agrarios explotados. Los abrevaderos y «descansaderos» del ganado que se encuentran a lo largo de estas vías constituyen elementos singulares de interés conectivo, sobre todo para la fauna. En general, tanto en vías pecuarias como en distintos tipos de caminos de tierra, las pequeñas fuentes, charcas ganaderas y pozas o charcones de pequeños arroyos que no llegan a secarse en verano constituyen en algunas áreas los únicos bebederos posibles para muchos animales. Durante los meses de sequía son focos de atracción de la fauna y suelen albergar en particular anfibios. Éstos, en pocos días, tras las primeras lluvias otoñales, realizan migraciones locales a estas zonas para reproducirse. Las charcas llegan a constituir nodos singulares de una red que suele pasar desapercibida.

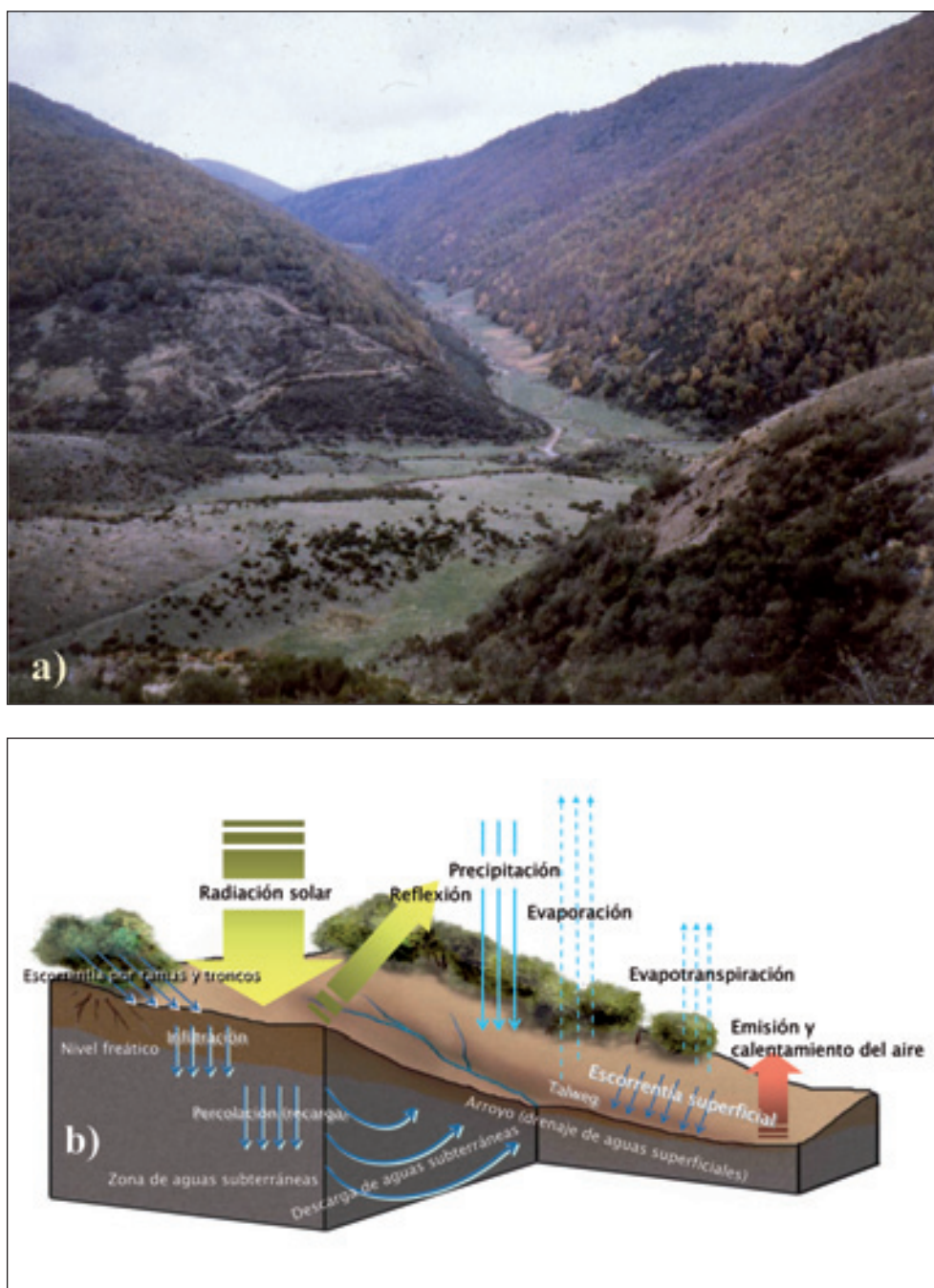


Figura 15. a) Cuenca hidrográfica de dimensiones medias y b) diagrama de White *et al.* (291) explicando el comportamiento local del ciclo del agua como hilo conductor del funcionamiento del ecosistema a esa escala. La escorrentía y circulación subsuperficial del agua conectan las laderas con el cauce de un arroyo o un río aportando agua con materiales en disolución y en suspensión.

Relaciones espaciales y compromiso para conservar la naturaleza ante el desarrollo de infraestructuras. Se teme que la excesiva fragmentación de los hábitats silvestres y su dispersión espacial representen definitivamente el declive de determinados lugares considerados «reservorios de biodiversidad». Estos sitios serían, hasta cierto punto, una garantía de permanencia de la «naturaleza» y de las posibilidades de su recuperación tras su degradación. La interconexión de estos ambientes es una tarea de interés global. Las políticas de conservación basadas en la consideración de especies biológicas o porciones aisladas del territorio son inadecuadas a largo plazo. Los patrones de dispersión y migración deben ser salvaguardados reconociéndose sus conexiones territoriales. Este constituye el principal reto de la integración entre las infraestructuras humanas de desarrollo y el tejido territorial. Las medidas locales son insuficientes en los casos en que la escala de las conexiones abarca territorios extensos. Por ejemplo, la protección del lince ibérico requiere conectar extensos corredores de monte mediterráneo que van desde el centro al sur de la península ibérica. Esta especie tiene por sí misma un alto valor emblemático (algunos conservacionistas señalan que, entre otras razones, hace miles de años que no se extingue una especie de felino en Europa), pero desde el punto de vista ecológico representa, sobre todo, un indicador del grado de conservación de determinadas áreas y, en menor medida, del grado de conexión que aún existe entre extensos espacios de monte. En otros casos, los hábitats pueden mantener mecanismos propios de autorregulación demográfica y su mantenimiento depende precisamente de su aislamiento, de manera que la conexión podría constituir un inconveniente.

Al comentarse la importancia de los factores geomorfológicos e hídricos se han referido algunos procesos cuyo mantenimiento depende de la salvaguarda de la dinámica biogeoquímica. Esta dinámica opera a través de diferentes hábitats. La red hidrográfica representa una síntesis de la conexión entre sucesivos procesos vectoriales. Los fenómenos de exportación, tránsito y acumulación de agua, nutrientes y materia orgánica representan las vías de conexión a lo largo de las laderas. Estuarios y deltas y zonas de marismas costeras constituyen también síntesis geográficas de estas dinámicas. A lo largo de los gradientes regionales de las cuencas se repiten estos procesos a diferentes escalas de detalle. Los reticulados rurales, a base de mantener setos y bosquetes en el seno del terreno cultivado o pastoreado, ralentizan estos procesos sin impedir la conexión gravitacional que los genera. Algunos nodos de la red de infraestructuras naturales son espacios con sistemas fundamentalmente maduros —de baja tasa de renovación esencialmente montaraces, con tendencia a acumular biomasa, madera, leña, necromasa y humus en el suelo—, pero en otros casos, la importancia de los nodos puede derivar de su funcionamiento como «fuentes» en el trasiego de componentes naturales, conectados con otros espacios, generalmente productivos (como los terrenos agrícolas y pastos de media y baja ladera, que actúan como «sumideros» de aquellos nodos). Las conexiones vectoriales entre la montaña y los piedemontes, o las lomas y las vaguadas, constituyen ejemplos de este tipo. La fertilidad de los últimos viene determinada por la funcionalidad de los sistemas montañas-rampas o laderas-vaguadas (flujos de agua y nutrientes, movimientos de la fauna y el ganado, etc.). En casi toda la geografía mediterránea la interrelación monte-pasto y monte-cultivo se basa en el mantenimiento del primero en las lomas, cerros o partes altas de las laderas, y los segundos en las zonas medias y bajas. El uso de fertilizantes químicos, tan extendido, exagerado y ligado a una economía agraria que se ha demostrado deficiente, no resulta suficiente a largo plazo para el mantenimiento de estos sistemas, de manera que la rotura de estas conexiones no puede desestimarse.

Estos casos y el de las comentadas dunas costeras corresponderían a porciones «abiertas» de la red, disipadoras de energía. En otros casos las conexiones a través de los corredores interesan a sistemas maduros, y estarían controladas tanto por fenómenos biológicos migratorios como por procesos físicos. Ambos tipos de conexiones pueden mantener a lo largo del año actividades «punta» y actividades de «sosiego» o reposo, según las condiciones climáticas estacionales, fenología, migración faunística, etc. Existen muchos ejemplos de rotura de estas conexiones por el trazado de carreteras.

Los casos comentados de cerros, cumbres y cuerdas montañosas pocas veces pueden verse afectados por el trazado de infraestructuras viarias, pero sí su funcionalidad como nodos.

En cuanto a la red de vías pecuarias, su existencia facilita el mantenimiento de la trama rural. Con frecuencia, la red de carreteras la ha alterado, destruido o utilizado, sin que la planificación del territorio se haya hecho inteligentemente ni la ingeniería haya buscado alternativa. Su conservación y rehabilitación en los tramos destruidos parece imperiosa y debe constituir en sí misma un objetivo de las redes futuras de infraestructuras. Cruzar una nueva red de infraestructuras con la red ecológica natural teniendo en consideración todas estas circunstancias puede suponer la completa descomposición de la segunda, o bien su conservación, si se mantiene la funcionalidad de los distintos tipos de nodos, sumideros y flujos.

2.2. Caracterización de la conectividad artificial

A los efectos de caracterizar la interferencia entre la red de infraestructuras humanas y el tejido ecológico territorial puede hacerse una tipificación y caracterización de aquella red mediante parámetros de incidencia fácilmente contrastable con la dinámica de este tejido. Aunque este tipo de interferencia no representa aún una referencia habitual en los estudios de impacto ambiental, la incorporación de las consideraciones ambientales digamos «clásicas» en el marco de la planificación territorial y de los proyectos específicos de ingeniería es un objetivo asumido universalmente desde las primeras fases de cada proceso. Estas consideraciones se incluyen ya en la planificación general de usos y ocupación, diseño de infraestructuras, definición de soluciones técnicamente viables y selección de la adecuada, elaboración de proyectos constructivos, programas de explotación y protocolos para el mantenimiento. El Cuadro 2 recoge las características de las infraestructuras que deben tenerse inicialmente en cuenta en relación con el entorno de acogida (ver Apéndice 1).

Vías de comunicación como las *autopistas*, se proyectan, construyen y señalizan especialmente para la circulación exclusiva de automóviles. Destacan entre sus características *i)* que los terrenos colindantes no tienen acceso directo a ellas, *ii)* no cruzan a nivel ninguna otra senda, *iii)* disponen de ciertas vías de comunicación o servidumbre de paso, *iv)* constan de distintas calzadas para cada sentido de circulación que están separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios, *v)* tienen radios de curvaturas grandes y *vi)* pueden tener establecida una velocidad máxima de circulación (en España ha sido recientemente de 120 km/h).

Las *autovías*, sin todas las características de las autopistas, tienen *i)* calzadas separadas para cada sentido de circulación y limitación de accesos a terrenos colindantes, *ii)* no cruzan a nivel ninguna otra senda o vía, incluidas las de ferrocarril o de tranvía, *iii)* no están cruzadas a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna, *iv)* la velocidad máxima permitida ha sido recientemente de 120 km/h y *v)* sus radios de curvaturas son grandes.

Cuadro 2. Primeras consideraciones en la caracterización de infraestructuras de transportes respecto a su incidencia en el paisaje.

Infraestructura	Ocupación de terreno	Radio en planta	Pendiente máxima	Movimiento de tierra	Efecto barrera	Interferencia en movilidad animal
Autopista	ALTO	ALTO	BAJA	ALTO	ALTO	ALTO
Carretera	MEDIO-ALTO	MEDIO	MEDIA	MEDIO-ALTO	MEDIO	MEDIO-ALTO
Tren de alta velocidad	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY BAJA	ALTO-MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
Ferrocarril	ALTO	ALTO	BAJA	ALTO	BAJO	BAJO
Canal	ALTO	BAJO	–	ALTO	MUY ALTO	MEDIO-ALTO
Tubería	BAJO	BAJO	ALTA	BAJO-MEDIO	NULO	NULO
Transporte por cable	–	–	MUY ALTA	MUY BAJO	–	–
Tendido eléctrico	–	–	ALTA	MUY BAJO	–	MEDIA

Las *vías rápidas* son carreteras de *i*) una sola calzada y con limitación total de accesos a los terrenos colindantes, *ii*) no cruzan a nivel ninguna otra senda o vía, incluidas las de ferrocarril o de tranvía, ni *iii*) son cruzadas a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna, *iv*) permiten una velocidad máxima de 100 km/h y *v*) tienen radios de curvaturas medios.

Las vías que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y vías rápidas son las *carreteras convencionales*, que permiten una velocidad máxima de 90-100 km/h y tienen radios de curvaturas medios-bajos. Se pueden dividir según su funcionalidad en *i*) *carreteras montaña* que, discurriendo por terrenos muy accidentados, tienen un tráfico reducido o su funcionalidad es de uso muy específico (acceso a instalación de montaña, turismo, deportes, etc.); no tienen bermas y el arcén está limitado a 1 m; *ii*) *carreteras que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad* en el que no es posible alcanzar las características geométricas fijadas en la Norma de Carreteras (Tabla 1) sin producir costes ambientales críticos; *iii*) *vías urbanas*. Cualquiera que sea su tipo, son utilizadas parcialmente por tráfico urbano o pasan próximas a áreas urbanas consolidadas o previstas por el planeamiento urbanístico.

Junto con los tipos anteriores el territorio está atravesado por una notable densidad de *caminos* y *vías pecuarias*. Estas últimas constituyen en el territorio español una red histórica de transporte que aún mantiene su estructura esencial, aunque su uso ganadero, en el sentido del trasiego de rebaños propio de otras épocas, sea hoy testimonial^(24,100,231). Actualmente se consideran rutas o itinerarios por donde discurre o ha venido discurriendo tradicionalmente el tránsito ganadero (Ley de 23 de Marzo de 1995). En la red de vías pecuarias hay abrevaderos, descansaderos y majadas, asociados al tránsito ganadero. *i*) Los *caminos* discurren por terrenos muy diversos, tienen un tráfico reducido o su funcionalidad es de uso muy específico (rural generalmente; actualmente tienen valor añadido por fines turísticos, deportivos, etc.). Su anchura es variable, frecuentemente en torno a los 8 m; *ii*) las *cañadas* tienen una anchura que

Tabla 1. Elementos de las redes viarias y sus dimensiones de acuerdo con la Norma de Carreteras⁽¹⁹⁴⁾.
La IMD (intensidad media diaria) indica la importancia del tráfico.

Clase de carretera		Velocidad de proyecto (km/h)	Carriles (m)	Arcén (m)		Bermas (m)		Nivel de servicio
				exterior	interior	mínimo	máximo****	(1)
De calzadas separadas	Autopistas y autovías	120	3,5	2,5	1,0-1,5*	0,75	1,5	C
		100	3,5	2,5	1,0-1,5*	0,75	1,5	D
		80	3,5	2,5	1,0	0,75	1,5	D
De calzada única	Vías rápidas	100	3,5	2,5	2,5	0,75	1,5	C
		80	3,5	2,5	2,5	0,75	1,5	D
	Carreteras convenc.	100	3,5	1,5-2,5	1,5-2,5	0,75	1,5	D
		80	3,5	1,5***	1,5***	0,75**	1,5**	D
		60	3,5	1,0-1,5***	1,0-1,5***	0,75**	1,5**	E
		40	3,5	0,5	0,5	–	–	E
		(IMD ≥ 2000)						
		40	3,0	0,5	–	–	–	E
		(IMD < 2000)						

* 1,5 para medianas en las que, de forma continuada, la barrera esté adosada al arcén.

** En carreteras en terrenos muy accidentados o con baja intensidad de tráfico (IMC < 3000) podrían no existir bermas o reducirse.

*** En carreteras en terrenos muy accidentados o con baja intensidad de tráfico (IMC < 3000) el arcén puede ser ≤ 0,5 m (las carreteras convencionales de montaña no tienen bermas y el arcén puede ser ≤ 0,5 m).

⁽¹⁾ Nivel de servicio en la «hora de proyecto» del año horizonte (se define en manuales de capacidad). Ver Apéndice 1.

habitualmente no excede de 75 m; sus radios de curva son pequeños y la velocidad máxima de su uso es de unos 50 km/h; *iii*) los *cordeles* tienen una anchura máxima de 37,5 m. Se conectan con otras vías principales que articulan la red y con otras de anchura inferior; *iv*) las *veredas* tienen una anchura no superior a 20 m y, como las anteriores, se conectan con otras vías principales que articulan la red y con otras de anchura inferior («ramales» o «coladas», con una anchura máxima de 16 m y radios de curva muy pequeños).

La red que constituyen estas vías se encuentra hoy ocupada en España por nuevas infraestructuras (carreteras de diversa jerarquía, caminos, conducciones y asentamientos varios, tendidos eléctricos y telefónicos, líneas de ferrocarril etc.). Su reutilización como red viaria no se ha complementado con la actividad ganadera, ya que la renovación del firme (poco adecuado para pasos de ganado) o la ausencia de márgenes o pasos inferiores las han hecho impracticables para sus fines originales³.

³ La red de vías pecuarias junto a sus elementos culturales anexos, representa un legado histórico de interés general, cuya preservación debe garantizarse. Esta red presta un servicio a la cabaña ganadera explotada en régimen extensivo en toda España. Su existencia facilita el mantenimiento de la trama rural cultural y proporciona excelentes corredores para determinados fenómenos. Su conservación y rehabilitación en los tramos más seriamente afectados por abusos privados y negligencias de la Administración española parece imperiosa y debe constituir en sí misma un objetivo de la red 2000-2025. Cruzar la red de infraestructuras previstas con la red ecológica natural teniendo en consideración todas estas circunstancias, puede suponer la completa descomposición de la segunda o su mantenimiento, si la funcionalidad de los distintos tipos de nodos, sumideros y flujos mantiene su eficacia.

2.3. Descriptores de las infraestructuras

Las normas de infraestructuras viarias permiten señalar los descriptores de las infraestructuras de transporte terrestre que constan en la Tabla 2. Algunas de las medidas técnicas asociadas a estos descriptores son tomadas de COPT⁽⁴¹⁾. Como se verá en los estudios de casos contemplados más adelante, se ha llevado a cabo un análisis de los componentes de cada uno de los tipos de vías, considerando su incidencia en la conectividad ecológica del entorno. Los costes ambientales que las infraestructuras originan en la conectividad ecológica pueden ser estimados y cartografiados en el territorio y presentados como «mapas de impactos». Así, los trazados actuales de las diferentes vías permiten apreciar las «tensiones» que existen en la actualidad entre la conectividad ecológica y la red artificial de transporte humano, analizar las causas de tales tensiones y preverlas en nuevos proyectos mediante procedimientos de estudio como los ensayados en esos casos.

- *Plataforma.* Se refiere a la sección necesaria para construir la calzada, los arcenes y las bermas afirmadas. Representa la mínima ocupación de terreno para la infraestructura. En la práctica, la ocupación real es mayor, incluso mucho mayor, debido a las cunetas, desmontes y terraplenes, que dependen de la topografía, litología, etc.

Tabla 2. Tipificación de diferentes vías de transporte. Su incidencia en la conectividad ecológica territorial puede ser estudiada en función de las características aquí indicadas. La X indica la presencia del descriptor en la infraestructura.

Descriptores de las infraestructuras	Tipos de infraestructuras					
	Autopistas	Autovías	Vías rápidas	Carreteras	Caminos y cañadas	Cordeles y veredas
1. Plataforma	Doble calzada con mediana	Doble calzada, con/sin mediana	Una calzada	Una calzada	Una calzada	Una calzada
2. Cerramiento	X	X	X	X	–	–
3. Desmonte	X	X	X	X	X	–
4. Terraplén	X	X	X	X	X	–
5. Velocidad máxima (km/h)	110	110	100	90-100	50	–
6. Radio de curvatura – Radio en planta – Acuerdo vertical	Grandes	Grandes	Medios	Medios	Bajos	Bajos
7. Cuneta	X	X	X	X	–	–
8. Préstamo	X	X	X	X	X	–
9. Caballero	X	X	X	X	X	–
10. Berma	X	X	X	X	–	–
11. Vía de servicio	X	X	–	–	–	–
12. Intensidad de tráfico	X	X	X	X	–	–
13. Obras de fábrica	X	X	X	X	–	–
14. Enlace	X	X	X	X	–	–
15. Estación de servicio	X	X	X	X	–	–

Además de producir una ocupación directa de suelo, las plataformas afectan a la recogida de aguas de lluvia y suponen una interferencia seria en la conectividad ecológica. Sus dimensiones pueden oscilar desde apenas 3 ó 4 m para un simple camino hasta más de 100 para autopistas. El uso de firme poroso puede ser usado para facilitar el drenaje y evitar encharcamientos en las calzadas, y se pueden aconsejar medidas que reduzcan la contaminación acústica con firmes adecuados. La separación de calzadas en altura puede disminuir el riesgo de erosión, pudiéndose considerar la posibilidad de superponer las calzadas o el desdoblamiento de éstas.

- *Cerramiento*. Los vallados impiden el paso a la vía de personas y animales. Generalmente el cerramiento es una malla que viene definida por el material, distancia entre apoyos, altura, anclaje, luz de malla y trazado.

La unidad de referencia del vallado de la infraestructura se expresa en km. Son habituales las «mallas cinegéticas» (cerramiento metálico diseñado para evitar el paso de animales vertebrados medianos), con luz menor en la base y progresivamente más amplia hacia la parte superior, así como enterramiento de la parte inferior hasta determinada profundidad, según las especies biológicas presentes en la zona. El cerramiento debe «guiar» a los animales a los «pasos de fauna» que compensen en parte, el fuerte efecto barrera del vallado. Es relevante cuidar la efectividad del vallado, sobre todo para el caso de los pequeños vertebrados, enterrándolo unos 20 cm y reforzándolo en la base si hay especies de envergadura (jabalíes), con distancia entre postes de 3 y 2 m y una altura mínima de 2 m si hay ciervos. Está desaconsejado el alambre de espino por razones obvias de protección de la fauna.

En puntos especialmente problemáticos de migración (anfibios, camaleones, etc.) se aplican vallas especialmente diseñadas, reforzadas en su parte inferior con una pequeña luz (0,5x0,5 cm). Los vallados para anfibios deben ser opacos⁽²³⁵⁾. La roturación o desbroce de una franja de terreno de unos 4 m a cada lado de la valla es frecuente practicarla como elemento disuasorio para la fauna, además de actuar como cortafuego. También se construyen «rampas de escape» o puertas unidireccionales, que permitan el escape de fauna que ha quedado atrapada en los tramos vallados (altura de unos 50 cm menor que la valla y recubierta de tierra vegetal). Su colocación se hace a cada lado y con distancias de unos 500 m, especialmente allí donde se ha constatado una elevada mortalidad de animales de mediano y gran tamaño, así como la instalación de un falso escalón a media altura de la caída vertical, para evitar los saltos de animales.

El cerramiento es el más conocido factor del efecto barrera que la carretera produce en la conectividad biológica debido a su interferencia en el trasiego de la fauna terrestre. Su importancia depende del tipo de malla empleado y de su altura. Plantea problemas de seguridad para la circulación por entrada accidental de animales grandes que, posteriormente, no encuentran el modo de salir nuevamente al campo libre. Los cerramientos son ahora habituales, incluso en carreteras convencionales, para evitar accidentes por invasión de animales en la calzada, de manera que su efecto barrera resulta estar cada vez más extendido en el territorio.

- *Desmante*. Está constituido por la explanación hecha bajo el terreno original. Las unidades de referencia técnica son el volumen de desmante en roca o suelo (m³), altura

media de los taludes en desmorte (m), pendiente (tg), superficie inclinada de los taludes de desmorte (m^2), superficie ocupada en zonas de desmorte (ha), longitud de desmontes en roca (km) y longitud de desmontes en tierra (km).

Los desmontes pueden dar lugar a efectos barrera, impacto paisajístico, generación de fenómenos erosivos por efecto goteo y formación de cárcavas, desestabilización del terreno y corrimientos, drenaje de aguas subterráneas a media ladera, modificaciones en flujos hacia arroyos, colmatación por arrastres sólidos de los sistemas de drenaje, etc. Estos efectos dependen directamente del tipo de terreno, pendiente, intensidad y reparto de precipitaciones y altura del desmorte. Los desmontes y taludes suponen un serio elemento de drenaje superficial y subsuperficial y una alteración de la dinámica laminar natural del agua en diferentes tipos de terrenos. Paliar la afección de desmontes y taludes a la conectividad ecológica supone que, siempre que puedan producirse aportes importantes de agua y el terreno sea erosionable, se construyan cunetas superiores de guarda. Si tienen gran altura deben disponerse bermas cada 3 ó 4 m para recogidas pluviales. Otros tipos de soluciones para paliar las afecciones a la conectividad pueden suponer construcciones de *bypass* hídricos y empleo de asfaltos porosos.

La ocupación del terreno puede ser considerable en los grandes terraplenes, así que se trata de evitar en lo posible, por ejemplo, construyendo muros a cada lado de la carretera o sustituyendo parte de los terraplenes por viaductos, que no suponen barreras a la conectividad (escorrentías importantes, humedales, valles fluviales amplios, espacios faunísticamente activos, etc.).

- *Terraplen*. Es la parte de la explanación que permanece sin la cobertura de la calzada sobre el terreno original. Sus unidades de referencia técnica son el volumen del terraplén (m^3), altura media de los taludes en terraplén (m), superficie inclinada de los taludes del terraplén (m^2), superficie ocupada en la zona del terraplén (ha) y longitud de los terraplenes (km). Si el material es principalmente roca («pedraplén») se mide en iguales unidades⁴.

De forma similar a los desmontes, los terraplenes pueden producir efecto barrera, impactos paisajísticos, generación de fenómenos erosivos por efecto goteo y formación de cárcavas, desestabilización del terreno y corrimientos. También pueden producir modificaciones en los volúmenes de agua que llegan a los arroyos pequeños. Sus efectos dependen directamente del tipo de material utilizado para construir el terraplén,

⁴ Los terraplenes se pueden diferenciar como «completos», a «media ladera» y de «cruce de valle». Para el diseño y mantenimiento de taludes y medianas deben considerarse aspectos tales como prevención de la erosión, disminución del riesgo de incendios, mantenimiento de la diversidad biológica y posibilidad de uso como corredores fauna. También han de evaluarse las «zonas trampa» para rapaces que utilizan el área como zona de caza. Para terraplenes a media ladera debe evitarse la compensación de tierras en la misma sección, sin la previa valoración de las consecuencias ambientales. Esto supone la construcción de una plataforma mayor que la necesaria, con una ocupación mayor del suelo natural. En algunas ocasiones puede reducirse el nivel de los impactos negativos desdoblado las calzadas. En otros casos, es cuestionable el criterio tradicional de compensación de tierras en el tramo que constituya la obra, por razones de economía técnica, ya que puede tener graves consecuencias ambientales, por ejemplo en el caso de que el trazado transcurra perpendicularmente a valles paralelos produciendo alternancia de desmontes y terraplenes. Finalmente, deben evitarse los grandes terraplenes con fuertes ocupaciones de suelo y elevados efectos barrera en ecosistemas fluviales⁽⁴¹⁾.

pendiente, precipitaciones y altura. Como en los taludes, si los terraplenes tienen gran altura deben disponerse bermas cada 3 ó 4 m para recogidas pluviales.

- *Velocidad máxima.* El trazado de una vía de transporte se define en relación directa con la velocidad prevista para que circulen los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad aceptables. A efectos de incidencias ambientales debe considerarse⁽¹⁷⁶⁾ la *velocidad específica de proyecto* (la seleccionada para el proyecto de trazado de acuerdo con factores como las curvas circulares en planta, peraltes y distancias de visibilidad, de los que depende la seguridad de los vehículos); la *velocidad media de circulación* (resultante de dividir la longitud de un tramo determinado de carretera por el tiempo requerido por un vehículo para atravesarlo, teniendo en cuenta solamente la fracción total del tiempo en que el vehículo ha permanecido en movimiento) y la *velocidad media de recorrido* (resultante de dividir la longitud de un tramo determinado de carretera por el tiempo requerido por un vehículo para atravesarlo, teniendo en cuenta solamente la fracción total de ese tiempo en que el vehículo ha permanecido en movimiento).

La velocidad en carreteras viene definida por tres características de mayor a menor importancia: en planta viene limitada por los radios de curvatura, en alzado (perfil longitudinal) por los acuerdos debidamente compensados y en perfiles transversales por el peralte (máximo de 7% en curva). La reducción de los límites de velocidad resulta muy eficaz mediante medidas «de calma» que reduzcan la velocidad y aumenten la sensación de circular por un espacio protegido. Básicamente son rotondas, asfaltos rugosos y coloreados, bandas sonoras y áreas de descanso. Se pueden incluir señalizaciones específicas que informen de forma llamativa de «espacio protegido», «fauna vulnerable», etc.

La velocidad máxima de cálculo de los vehículos es un dato del proyecto de la carretera, por lo tanto es un factor conocido de ante mano. La velocidad real de los vehículos es el principal factor determinante de los impactos acústicos y de los índices de mortalidad de los vertebrados (mamíferos, aves, anfibios, reptiles e insectos) que intentan cruzar la vía.

- *Radio de curvatura.* El radio mínimo de las curvas circulares viene determinado en función del peralte, el rozamiento transversal movilizado, la visibilidad de parada en toda su longitud y la coordinación del trazado en planta y alzado. Los radios de curvatura de autopistas y autovías son al menos de 1000 m, para carreteras convencionales como mínimo 250 m y en vías rápidas depende de la velocidad máxima asignada. En carreteras de montaña, la integración de la obra en la topografía exige radios de curvatura pequeños.

Los *radios en planta* determinan la capacidad de la carretera para adaptarse al terreno en planta. Cuando el terreno es accidentado, con pendiente entre 15% y 25%, las carreteras con radios grandes (autopistas y autovías) producen grandes obras de fábrica y fuertes desmontes y terraplenes con grandes movimientos de tierra. Los *acuerdos verticales* determinan las características del encaje vertical de las carreteras al terreno, fundamentalmente en los cambios de rasante y puntos de pérdida de visibilidad. Junto con los radios en planta y las pendientes máximas, los acuerdos constituyen los factores determinantes de las principales dificultades para la adaptación de las carreteras a relieves complejos y de los volúmenes de tierras que resultan afectados en estas obras

(en carreteras de montaña es importante concebir el trazado con radios y pendientes adaptadas al terreno y a las características del entorno, en detrimento de la velocidad).

- *Cuneta*. Es la franja lateral en V, exterior a la plataforma de la carretera, dedicada a la recogida de aguas de lluvia para su conducción, en su caso, a lugares de evacuación controlada. Su dimensionamiento y diseño funcional dependen del clima, de las características geológicas, litológicas y edáficas del entorno y, naturalmente, de las características locales de cada tramo de carretera. Sus secciones, por tanto, admiten en realidad una amplia variación en función del volumen de aguas a evacuar, de sus pendientes, del tipo de solera, etc. Los sistemas de recogida de aguas de las laderas próximas permiten numerosas opciones que deben optimizarse armónicamente para lograr mínimas ocupaciones de suelo y mínimas interferencias con los flujos hídricos naturales.

Las cunetas suponen un elemento de drenaje superficial y subsuperficial y una alteración de la dinámica laminar natural del agua en diferentes tipos de laderas. Al mismo tiempo pueden generar hábitats de características espaciales anómalas por alteración de conducciones y acumulaciones de agua. Cunetas, areneros, arquetas, sifones, pasos, etc., deben concebirse siempre teniendo presente la posible rotura de los flujos hídricos subsuperficiales de las laderas, así como el papel del agua en el mantenimiento de determinadas comunidades biológicas presentes en el área atravesada, como anfibios y mamíferos de pequeño tamaño, evitando generar bien superficies desacadas por drenaje y trampas mortales para la fauna.

- *Préstamo*. Es el lugar de donde se toman, en su caso, los materiales necesarios para la construcción de una carretera. En general, trata de «compensar tierras» en cada tramo de carretera, de modo que el volumen de los desmontes sea equivalente al de los terraplenes. Puede ocurrir que entre las tierras procedentes de los desmontes no exista volumen suficiente para completar los terraplenes, siendo preciso encontrar algún lugar próximo (*préstamo*) con tierras de calidad adecuada.

Aunque es necesario programar las extracciones y proyectar con detalle las operaciones minimizándose sus costes ambientales, los préstamos suponen alteraciones de la conectividad ligadas a los flujos hídricos, aunque puntuales en el espacio y sin repercusiones notables, según qué casos, en la dinámica de flujos laminares y fenómenos de convergencia-divergencia hídricas en cuencas hidrográficas locales.

- *Caballero*. Es el lugar donde se depositan los sobrantes de los desmontes. Como los préstamos, los caballeros deben ser objeto de proyecto concreto con especificación de las operaciones de formación, estabilización, tratamientos de restauración y terminación paisajística.
- *Berma*. La berma es una franja longitudinal, afirmada o no, comprendida entre el borde exterior del arcén y la cuneta o talud. Varía de 0,75 a 1,5 m. Constituye una vía habitual de transporte durante las obras de construcción, pudiendo constituirse más tarde en una vía de servicio de la infraestructura. Las medidas técnicas asociadas a las obras y uso de la infraestructura están encaminadas a reducir el riesgo de inestabilidades, por ejemplo, mediante abancalamientos, según el tipo y estado de la roca.

De forma parecida al caso de las cunetas, las bermas suponen un elemento de drenaje superficial y subsuperficial y una alteración de la dinámica laminar natural del

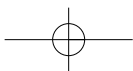
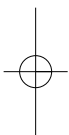
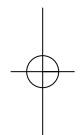
agua si su trazado atraviesa determinados tipos de laderas. Como aquéllas, pueden también generar hábitats de características espaciales anómalas por alteración de conducciones y flujos y acumulaciones de agua.

- *Vía de servicio.* Es un vial, más o menos paralelo al principal, cuya finalidad es dar acceso a carreteras y caminos de menor entidad de la red de comunicaciones rurales (explotación agropecuarias, etc.). Sus características son muy variadas, según el tipo de viales existentes y la densidad de caminos rurales, aunque tienen en común un factor importante: aumentan notablemente la ocupación real de terreno y trasiego local. Por tanto, la franja afectada por la carretera principal puede verse notablemente ampliada y, consecuentemente, los efectos atribuidos a la anchura de las plataformas.
- *Intensidad de tráfico.* Es un factor clave para definir el tipo de infraestructura y sus prestaciones sociales. La *intensidad media de tráfico*, IMD, es el número medio total de vehículos que pasan diariamente por una sección transversal de la carretera. La medida se refiere al menos a un año⁽¹⁹⁴⁾. La *intensidad horaria de proyecto* es el número de vehículos que deben poder utilizar la carretera en proyecto para un año horizonte, durante un período de tiempo de una hora y para un nivel de servicio fijado⁽¹⁷⁶⁾. Naturalmente, desde el punto de vista de la conectividad ecológica, los problemas ambientales guardan relación directa con el flujo de vehículos y la naturaleza de éstos.
- *Obras de fábrica.* Sobre todo se trata de muros de contención, sostenimiento o recubrimiento llevados a cabo para estabilizar los taludes de desmontes, terraplenes o sistemas viarios; de obras transversales de desagüe, como caños (<1m), alcantarillas (entre 1 y 3 m), pontones (entre 3 y 10 m) o puentes (mas de 10 m), para permitir la circulación de las aguas superficiales o salvar valles u otras infraestructuras, o de sistemas de evacuación de las escorrentías de la plataforma y sus desmontes, mediante cunetas, sistemas de drenaje, balsas de decantación, etc.

Por sus características, estas obras pueden incidir notablemente sobre el paisaje, la circulación de las aguas superficiales, producir serios efectos frontera de la fauna terrestre y fluvial. La atención en el diseño a escala detallada, en el no construir caños y cuidar que las alcantarillas sean amplias, al menos de 2 m de diámetro, supone paliar sensiblemente los efectos barrera. Es obvio que se construyen puentes cuando hay un río que atravesar, así que un proyecto actual debe tener presente el contexto físico-químico de éste y sus características biológicas.

- *Enlaces.* Las intersecciones de una carretera dada con otras infraestructuras viarias se resuelven según las exigencias técnicas derivadas de los tipos de viales en liza. Para ello se recurre a construir viales de enlace (a nivel o mediante pasos superiores o inferiores), caminos de servicio, vías de aceleración y desaceleración, rotondas, etc. En el caso de carreteras convencionales y caminos las soluciones suelen ser bastante simples. En autopistas y autovías que cruzan entre sí o con otras carreteras convencionales pueden necesitarse complejas estructuras viarias que ocupan gran superficie y presentan problemas ambientales adicionales. En los puntos de enlace se afecta el paisaje y son patentes las consecuencias de la impermeabilización y falta de infiltración, los efectos frontera, desencadenamiento de procesos erosivos y modificaciones de flujos superficiales y subterráneos de agua.

- *Estaciones de servicio.* Son propias de autopistas y carreteras. Representan una notable ocupación de suelo con afección al paisaje, generan contaminación lumínica, precisan suministros (electricidad, agua, saneamiento, combustibles, alimentos, etc.) y emiten productos más o menos contaminantes. Las estaciones de servicio afectan al suelo (por ocupación, contaminación directa y lixiviados), paisaje (instalaciones, elementos informativos y luminosos), fauna (derivadas de contaminación y efectos lumínicos, afecciones y contaminaciones a las aguas subterráneas y cauces superficiales).



Capítulo 3

ESTUDIO DE CASOS

Entre las interacciones esquematizadas en la Figura 1 en el libro se presenta la formalización de tres de ellas. *i)* Una caracteriza la conectividad horizontal del territorio, reflejada en un conjunto de fenómenos físicos y procesos biológicos (Fig. 1c) que han sido cartografiados, proporcionando una imagen del funcionamiento del tejido territorial. Sobre esta estructura se ha proyectado la red humana de transporte, obteniéndose, igualmente, mapas de las tensiones que tienen lugar entre la infraestructura ecológica, denunciada por su conectividad horizontal, y la constituida por esta red humana. El estudio se ha llevado a cabo en Andalucía oriental (SE de España). *ii)* Otra interacción estudiada, denominada conectividad vertical, se establece entre el plano del paisaje y el socioeconómico. Se presenta el caso b_1 de la citada figura, considerado que el plano del paisaje constituye, en su medida, un fenómeno de dependencia del plano socioeconómico. El estudio se ha llevado a cabo en un territorio piloto de la provincia de Almería (Andalucía). *iii)* Finalmente se presentan dos casos del tipo a_1 de la misma figura, aportando un ejemplo sin duda oportuno de la relación que puede establecerse entre la «oferta» que supone el paisaje como recurso natural y cultural y su demanda por parte de poblaciones visitantes (turistas). Se ha considerado que en la actualidad el turismo cultural representa una de las posibilidades más interesantes de aprovechamiento del paisaje como recurso y supone una importante aportación al soporte económico y cultural que necesitan las actividades de conservación de la naturaleza dentro y fuera de los ENP. Uno de estos dos casos se ha tratado en la provincia de Madrid, en el centro de España⁽²⁴⁶⁾, y otro en el territorio de Els Ports-Maestrat, al E de España⁽⁵³⁾. Uno y otro territorio se encuentran sometidos en la actualidad a una diferente presión de modificación del paisaje debido a cambios socioeconómicos y de demanda por parte de visitantes.

3.1. Caracterización de la conectividad horizontal

Aunque el interés original de este estudio fuera aplicar la idea de conectividad a los ENP, se terminó abarcando intencionadamente un territorio piloto que comprendiera este tipo de espacios y su matriz territorial circundante en un área amplia, donde pudieran llevarse a cabo comparaciones en un marco apropiado de variación climática, geomorfológica, biológica y rural cultural. El objetivo que subyace en el libro es, de hecho, estudiar la aplicabilidad de la idea de conectividad del paisaje a la conservación de la naturaleza y a la planificación ambiental

Estudio de casos

—estudiar el *know how*—. Se optó por el territorio comprendido en las provincias de Jaén, Granada y Almería.

Geográficamente, la región considerada abarca las zonas orientales de las cordilleras Subbética, —sobre todo las cuencas de los ríos Guadalquivir y Guadiana Menor y la Sierra de Cazorla, en la cuenca alta del Guadalquivir— y Penibética, incluyéndose Sierra Nevada, Sierra de las Estancias y las Montañas de Cabo de Gata. En la mayor parte de estas montañas hay litología predominantemente caliza (Montañas Subbética y Sierra de Cazorla, entorno de Sierra Nevada), así como silíceas (núcleo de Sierra Nevada, Sierra de las Estancias), parameras intermedias y cuencas sedimentarias con materiales transportados desde aquellas sierras y parameras. El sur contiene llanuras litorales.

El contraste climático entre Oeste y Este es muy notable, lo que facilita los ensayos de evaluación de los fenómenos y procesos de conectividad ligados a la dinámica del agua entre los fenómenos físicos aquí estudiados. En el Oeste tanto los condicionantes de la altitud como la amplitud térmica anual son marcados. En el Este destacan una menor amplitud térmica y la aridez más marcada de la Península Ibérica (Fig. 16). Los efectos ecológicos del reparto anual de la pluviosidad, el estrés hídrico resultante en buena parte del territorio y los efectos de infiltración, flujo superficial, subsuperficial y escorrentía, determinan una amplia tipología de fenómenos físicos ligados a la conectividad territorial. Igualmente, la producción primaria determina contrastes muy fuertes entre unos ambientes y otros. Por un lado hay una notable amplitud de los procesos de ralentización-aceleración de flujos asociados a los tipos de vegetación y suelos y, por otro, una gran variación de contactos entre porciones del espacio de diferentes tasas de renovación y acúmulos de biomasa (tensiones energéticas de origen biológico originadas en fronteras asimétricas⁽¹⁶⁵⁾.

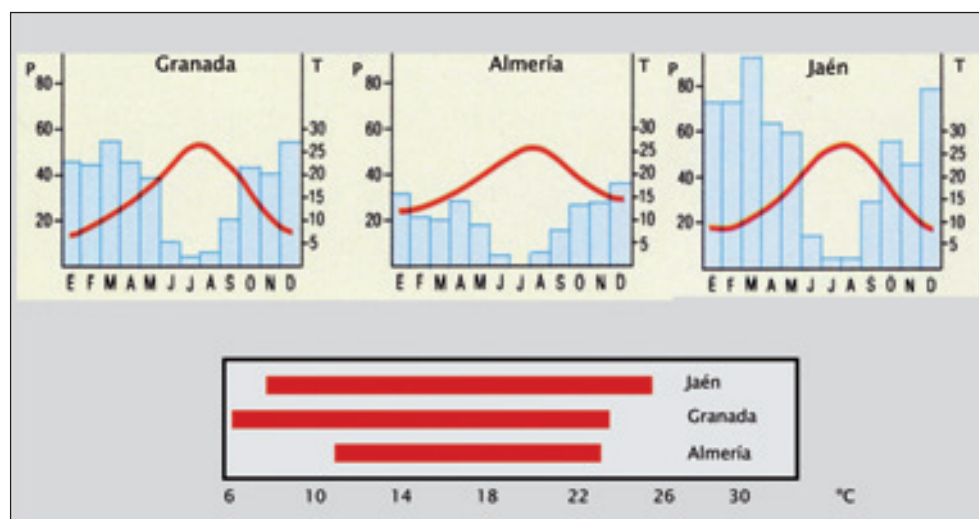


Figura 16. Diagramas ombrotérmicos (precipitación, P, en mm; temperatura, T, en °C) y, abajo, amplitud media anual de la temperatura en las provincias contempladas para el análisis de la conectividad horizontal —datos de Granada a 664 m snm, Almería a 18 m snm y Jaén a 578 m snm⁽¹⁹⁶⁾—.

El paisaje contiene aquí un componente cultural muy destacado, apenas paliado en las altitudes elevadas de las montañas. El uso agrícola y ganadero es ancestral y la silvicultura tradicional mediterránea tiene en este territorio probablemente una de las mejores representaciones de España. Buena parte del monte lo constituyen matorrales esclerófilos mediterráneos. Existen grandes extensiones de pinares en gran medida artificiales y a veces sobreexplotados: pinos de halepo, negral, silvestre, laricio. Los bosques nativos son de *Quercus spp.* —el encinar alcanza en la región las mayores altitudes de la Península—, *Olea europea* y *Ceratonia siliqua* y en los matorrales son muy singulares las formaciones relictas de *Pistacea lentiscus* y *Chamaerops humilis*, hoy muy reducidas y fragmentadas y, en este último caso, carentes de especímenes arbóreos⁽¹⁰⁸⁾.

El procedimiento seguido para el análisis de la conectividad horizontal en este territorio parte de la recopilación de datos e información bibliográfica y cartográfica disponibles (principalmente la que consta en las referencias bibliográficas 26, 70, 131-136, 175, 241 y 256), así como del desarrollo de numerosos recorridos de campo a través de rutas programadas. Los datos han sido utilizados tanto para elaborar un *mapa ecológico de base*, de acuerdo con el procedimiento comentado en el apartado 1.7a, como para analizar específicamente la conectividad y elaborar sus correspondientes mapas en función de variables *geóticas*, *ecológicas* y *tipología edáfica*. Para las primeras se tomaron datos topográficos —*altitud* (m snm), *pendiente* del terreno (porcentaje), *orientación* (grados de declinación); Figs. 17 y 18—, *climáticas* —precipitación media anual, primaveral y estival (mm), evapotranspiración potencial (mm), temperatura media anual, del mes más frío y estival (°C), número de días de helada, de niebla y

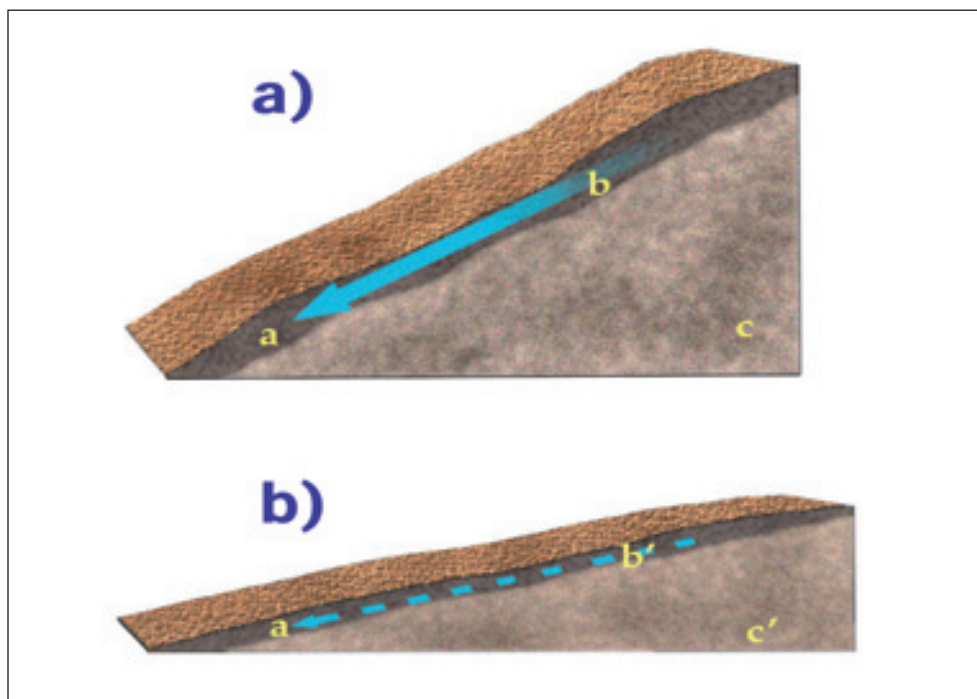


Figura 17. Para un tipo de suelo dado (a) el flujo hídrico puede ser rápido (b) o lento (b') dependiendo de la pendiente del terreno (elevada, c, o suave, c').

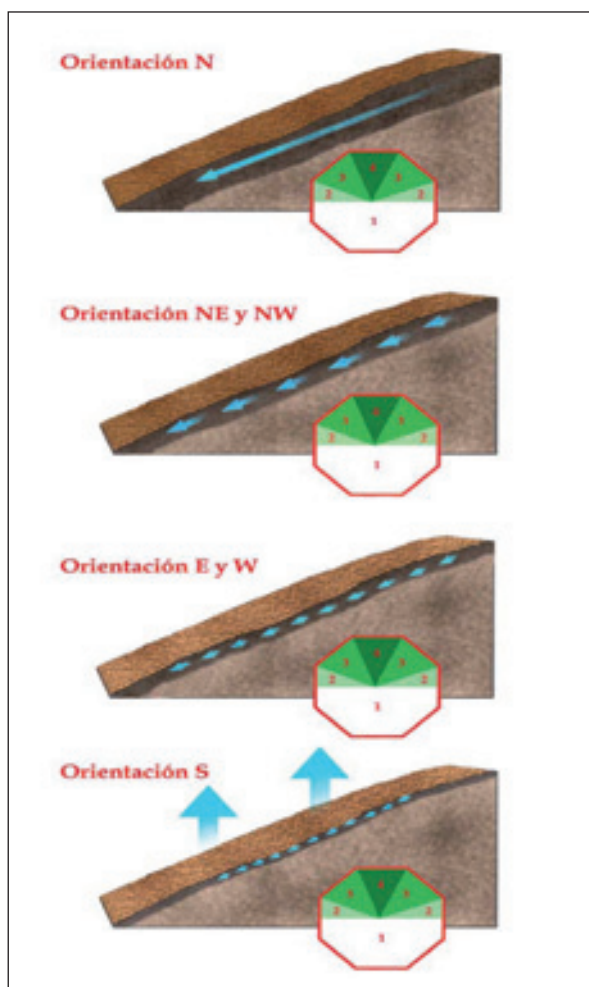


Figura 18. Esquema de la influencia de la orientación del terreno en la conectividad. La umbría condiciona una alta (N), media (NE, NW) o baja (E-NE, W-NW) retención del agua en el suelo, frente a la solanas donde ocurre una mayor evaporación y es menor la disponibilidad de agua para el flujo vectorial de la ladera (Figs. 8 y 15).

de nevada al año— y *geológicas* (18 tipos litológicos y 24 geomorfológicos). Como variables *ecológicas* a las que referir la conectividad se consideró el grado de desarrollo (*madurez*) de la vegetación (45 tipos), la *biomasa* (clases de valor que aparecen recogidas en la Fig. 19a), la *producción* (clases de valor que se muestran en la misma figura, b), la *tasa de renovación* (10 clases de valor; Apéndices 2 y 3) y la *movilidad de la fauna*, de acuerdo con la caracterización que se comenta más adelante —se han considerado 62 especies singulares (Apéndice 4a) de acuerdo con datos actualizados a partir de «Libros Rojos» de especies animales^(147,151)—. En los análisis se consideró también la *tipología edáfica* (44 tipos), para contemplar la capacidad potencial de infiltración y retención del agua a lo largo de las laderas (Figs. 20 y 21). La escala de referencia de infiltración potencial en los suelos presentes en la zona piloto estudiada ha sido la siguiente (de mayor a menor capacidad de infiltración, considerando suelos bien

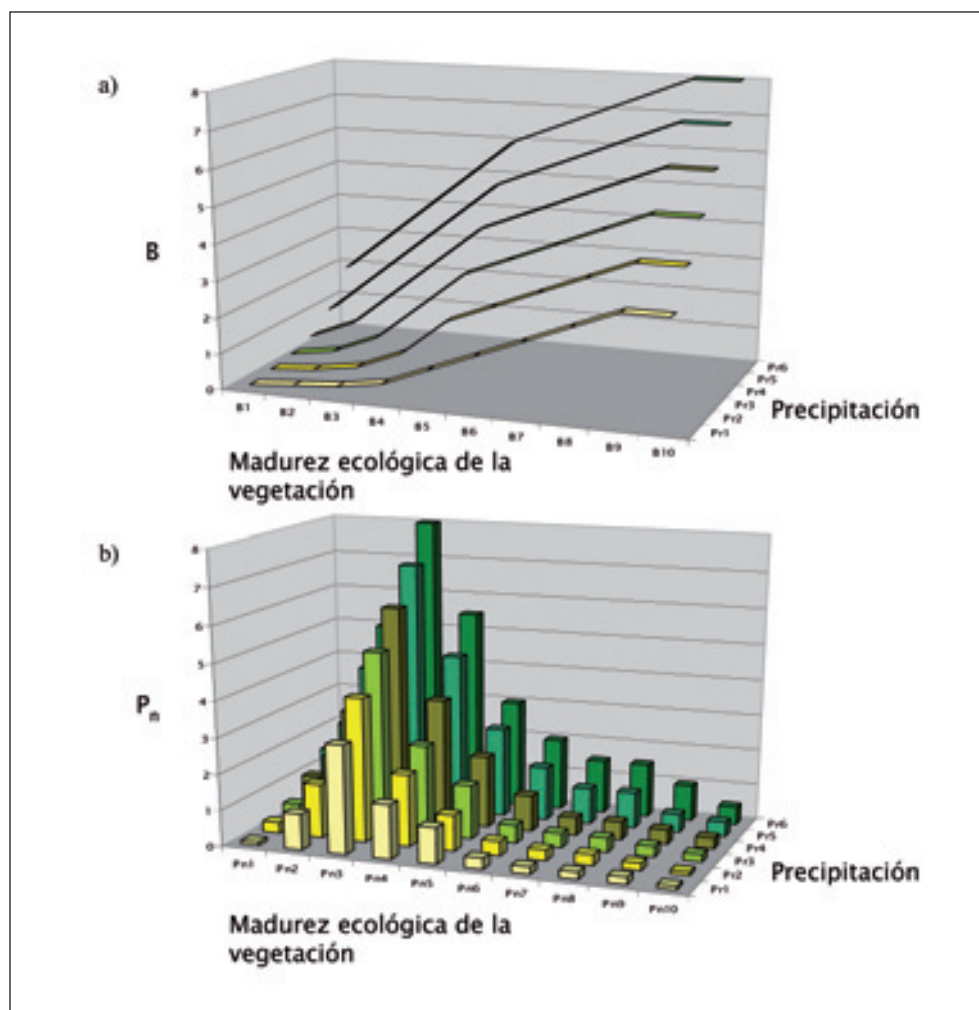


Figura 19. a) Valores estimados para la biomasa acumulada en zonas montaraces, B, en función de la precipitación anual de distintas zonas del territorio estudiado. Las clases de biomasa varían entre ≤ 1 y ≥ 60 t/ha. b) Valores estimados para la producción neta en las mismas zonas, Pn, en función de la precipitación anual de distintas zonas del área estudiada. Las clases de producción neta varían entre $\leq 0,1$ y ≥ 8 t/ha.año. Basado en Odum⁽¹⁹³⁾. Ver Apéndices 2 y 3.

conservados): mollisoles, vertisoles, alfisoles, inceptisoles, entisoles, suelos esqueléticos y litosuelos, así como variantes de estos casos según su estado de conservación. En la Figura 21, a) es un modelo muy antiguo de una situación estabilizada y probable alta capacidad de infiltración hídrica; b) es el desmonte progresivo de los suelos debido a una posible actividad explotadora humana; c) es la situación actual, con predominio de escorrentía superficial (menor capacidad de retención del flujo hídrico). En los territorios españoles predominan entisoles (suelos en general con poco desarrollo), alfisoles (con humus a poca profundidad), inceptisoles (con desarrollo moderado de horizontes) y aridisoles (con poco desarrollo, ricos en bases y frecuente acumulación de sales). Para caracterizar la infiltración del agua y su retención en el

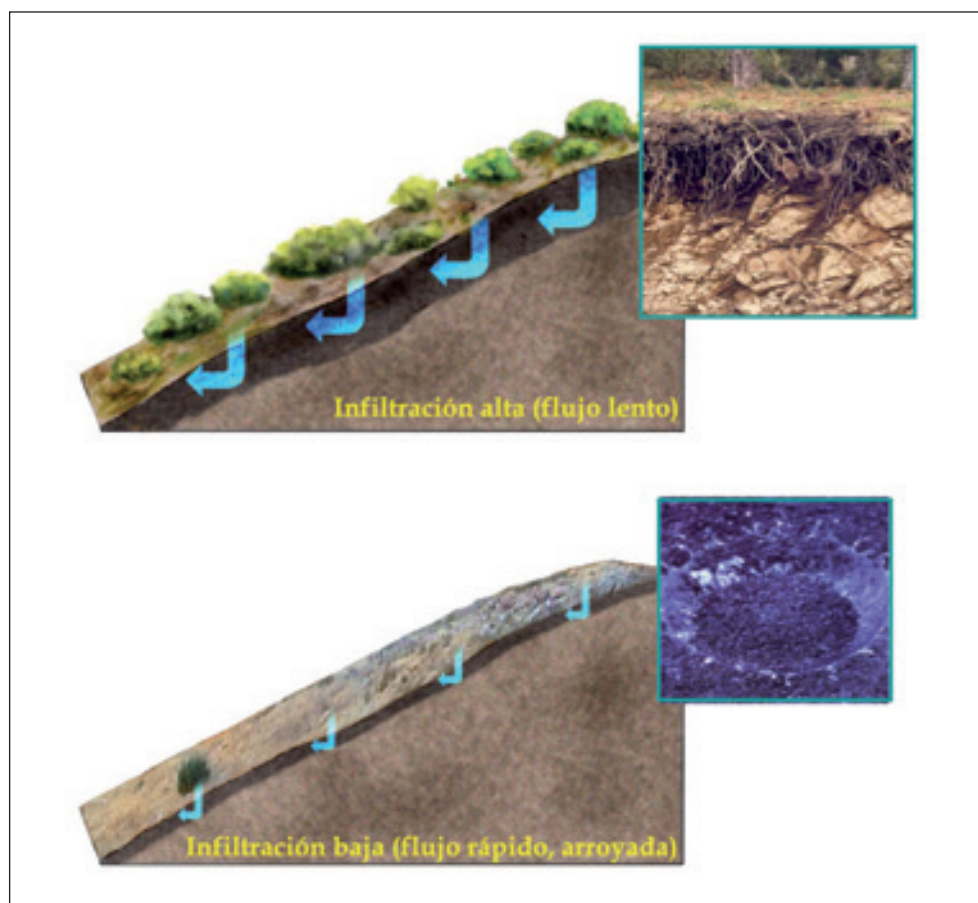


Figura 20. Esquema de la participación de la infiltración en la conectividad ecológica territorial. Para una pendiente del terreno dada, el flujo laminar lento está asociado al mayor desarrollo edáfico (figura superior). Arriba a la derecha la fotografía muestra un suelo desarrollado sobre roca granítica en un pinar. La materia orgánica acumulada y, sobre todo, el humus dan cohesión a las partículas edáficas y facilitan la lenta circulación «hipodérmica» del agua a pesar de la pendiente de la ladera. Por el contrario, la falta de humus facilita la dispersión de partículas edáficas por el impacto directo de las gotas de lluvia –el principal factor de erosión del suelo–.

suelo debe recurrirse a la tipología edáfica de la región contemplada. Para una pendiente del terreno media, el flujo laminar lento está asociado al mayor desarrollo edáfico.

La tarea desarrollada se basa en estimar cualitativamente y en cartografiar, mediante una función integradora, los componentes de la conectividad. Las variables comentadas han servido para caracterizar estos componentes. Para ello, se han registrado individualmente a partir de la información disponible y se han referido inicialmente a unidades espaciales consistentes en cuadrículas o celdas de 2 x 2 km (los datos faunísticos disponibles fueron referidos a cuadrículas de 10 x 10 km). El tratamiento de la información y su proyección cartográfica se basó en procedimientos de ArcView⁽⁷⁾ y SURFER⁽²⁶⁶⁾. Mediante este último se incorporaron las dimensiones suministradas en forma vectorial, representando sobre un mapa la dirección y magnitud de los flujos estimados a partir de las variables comentadas, tal como se verá más adelante.

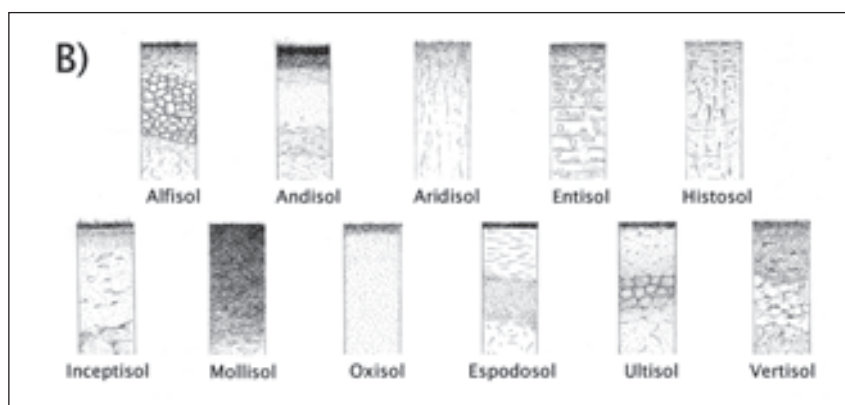
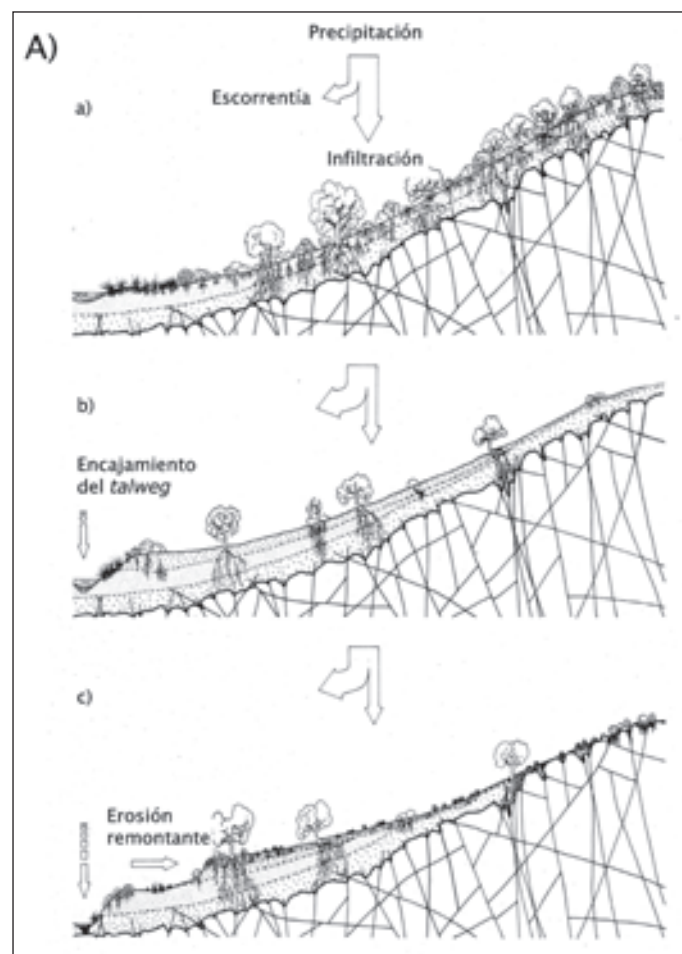


Figura 21. A) Representación de A. Pou⁽²¹⁷⁾ de la evolución probable seguida por el suelo en una ladera de material rocoso consolidado (lavas), fracturadas y alteradas en superficie. B) Esquema de los once órdenes de suelos que distinguen Smith & Smith⁽²⁵⁷⁾ para caracterizar a grandes rasgos los suelos.

Aunque la interacción entre las diferentes variables es lo que determina la idea básica de «trama de relaciones ecológicas espaciales», el papel de cada una de ellas se ha tratado individualmente, considerando constantes las restantes y estimando la contribución particular de cada una de ellas sobre la conectividad horizontal resultante. Ésta no se ha obtenido, sin embargo, como una yuxtaposición o suma de estas contribuciones parciales sino mediante su integración como un vector. Su cálculo ha seguido procedimientos adecuados a cada uno de los tres tipos de conectividad horizontal considerados: el resultante de la interacción entre fenómenos físicos esencialmente ligados a la circulación del agua, el debido a procesos biológicos condicionados por la presencia de fronteras asimétricas y el derivado del trasiego de la fauna. Estos dos últimos tipos se contemplaron separadamente, así que se obtuvieron tres expresiones de la conectividad.

De cada uno de los tres procesos se obtuvieron mapas temáticos. En cada uno de ellos se analizaron posteriormente las interferencias «conectividad ecológica-infraestructuras humanas de transporte», estimándose el coste ambiental o «impacto» por ruptura de la conectividad ecológica debido a esta última. La estimación de este coste se hizo mediante una suma ponderada de efectos, como se verá más adelante.

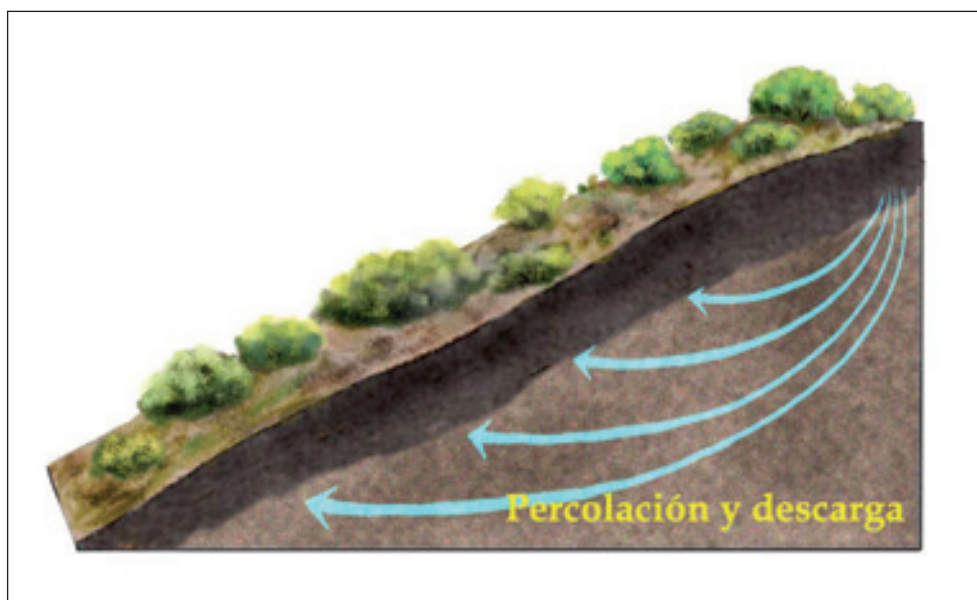


Figura 22. Participación de la percolación en la conectividad ecológica territorial. Para una pendiente del terreno y grado de desarrollo edáfico dados, el flujo subterráneo depende de las características del sustrato. La figura representa un terreno sedimentario permeable donde la infiltración del agua en el suelo, la percolación en el sustrato y la descarga local se representan mediante flechas⁽¹⁰¹⁾.

3.1.1. Conectividad horizontal debida a fenómenos físicos

La topografía, el tipo de sustrato, el suelo, el clima local y el tipo de formación vegetal condicionan decisivamente los fenómenos físicos determinantes de conexiones espaciales horizontales. La *pendiente* del terreno informa de la velocidad potencial del flujo hídrico con-

dicionado para la gravedad. Suponiéndose un sustrato impermeable, esta velocidad aumenta con la pendiente (Fig. 17). En un territorio dado es difícil imaginar una pendiente de valor cero pues a cierto detalle cualquier porción del espacio muestra algún desnivel, convexidad o concavidad que hace que la circulación superficial del agua esté condicionada por ello. Cada punto del territorio ha sido, pues, caracterizado por un valor de pendiente que, en los casos aquí contemplados, ha sido clasificado en seis valores ordinales, cuyas capacidades de ralentización del flujo hídrico (mantenimiento del agua en el suelo) aumenta cuanto más baja es la pendiente. El valor más alto (6) fue asignado a la clase de pendiente más baja (mayor ralentización del flujo) y el más bajo (1) a la clase de pendiente más alta.

La *orientación* del terreno informa sobre la intercepción de la radiación solar. Ésta calienta el sustrato, origina movimientos convectivos en el aire y evapora agua, que abandona el suelo como vapor contenido en ese aire. Para un terreno de pendiente dada, la orientación Sur supone mayor evapotranspiración que la Norte y origina un suelo que termina siendo relativamente menos desarrollado que en la umbría y hace que el agua de lluvia se mantenga menos tiempo que en ésta. Cada punto ha sido caracterizado en grados de declinación respecto a un eje Sur-Norte, definiéndose con respecto a éste nueve clases de orientación. La más septentrional representa la mayor capacidad de ralentización del flujo horizontal y mantenimiento del agua en el suelo. Estas clases de orientación fueron consideradas para elaborar el mapa ecológico de base. La participación de la orientación en la conectividad se simplificó en 5 clases. La más valorada (5) fue la norte y la menos (1) la sur (Fig. 18).

La variable considerada para estimar los fenómenos abióticos de conectividad derivados del tipo de sustrato ha sido la *infiltración edáfica* (en realidad un fenómeno físico no enteramente abiótico, dado el carácter ecosistémico del suelo). Ésta informa sobre la capacidad de retención del agua de lluvia en el suelo como «humedad edáfica» dependiente del tipo de suelo, de la misma forma que la capacidad de *percolación* viene determinada por el tipo de sustrato sobre el que se desarrolla ese suelo. El agua puede quedar contenida con mayor o menor eficiencia en la materia orgánica e intersticios del suelo (agua capilar). Para una pendiente, litología y orientación dadas, un elevado desarrollo edáfico, con humus abundante y presencia de agregados bien consolidados, mostraría mayor capacidad de infiltración y consiguiente flujo hídrico lento que un litosuelo, que permitiría un flujo más rápido y mayores posibilidades de arroyada (Fig. 20). Dependiendo de la naturaleza del sustrato, la mayor infiltración facilitaría, en su caso, una más alta posibilidad de percolación y «recarga» de aguas subterráneas en acuíferos (Fig. 22). Cada punto del territorio ha sido así identificado por alguno de los 44 tipos de suelo diferenciados en el caso contemplado, que pudieron ser agrupados en 7 clases de capacidades de infiltración. La más valorada correspondió a los suelos mejor conservados y de mayor capacidad de ralentizar el flujo hídrico en laderas de poca pendiente (en el territorio contemplado eran mollisoles), y la menos valorada correspondió a los litosuelos.

Los fenómenos abióticos derivados del clima local se han considerado a través de las variables siguientes: *precipitación total anual*, teniéndose presente su variabilidad en un territorio mediterráneo como el contemplado; sus valores más altos indican la posibilidad de un mayor desarrollo de la vegetación y de los suelos (flujos lentos); se distinguieron 6 clases y, desde la perspectiva de su contribución a la conectividad, la más valorada (6) correspondió a las zonas más húmedas con suelos más desarrollados y la menos (1) a las más áridas. Se ha considerado también la *precipitación media primaveral* (marzo), considerando su efecto en ambientes mediterráneos y el hecho de que buena parte del territorio estudiado es árido: en

Estudio de casos

primavera la lluvia produciría una relativamente escasa erosión, pues en ese momento del año el efecto amortiguador de la cobertura vegetal y el desarrollo radicular de las plantas lo evitarían mejor que en ningún otro momento, facilitando la infiltración. Así, la estimación más alta de infiltración se ha hecho para los lugares de valores más altos de precipitación en ese momento. Se diferenciaron también 6 clases. Considerando su contribución a la conectividad, la más valorada (6) correspondió a las zonas donde la lluvia primaveral puede infiltrarse por no encontrarse agostada la vegetación, principalmente la herbácea, y la menos (1) a las zonas más áridas. Buena parte de este territorio incluye ambientes muy áridos (los más áridos de la Península), de manera que, para una pendiente media dada, los valores relativamente más elevados de la *precipitación media estival* –tormentas estivales– se han estimado como representativos de mayor escorrentía y erosionabilidad (flujos rápidos, vegetación herbácea ya seca e incapacitada para retener la arroyada en ese momento del año). Con los valores de esta precipitación registrados en el territorio se diferenciaron, por su contribución potencial a la conectividad, 6 clases. Considerando que las tormentas de verano contribuyen a la arroyada y aceleración de flujos hídricos en laderas, la más valorada (6) correspondió a las zonas con menor precipitación estival y la menos (1) a los espacios afectados por tormentas en verano. También se ha tenido en cuenta la *evapotranspiración anual*. Sus valores se han considerado relacionados positivamente con las mayores velocidades del flujo hídrico en las laderas. Si la evapotranspiración es baja, el agua permanece en el suelo y participa de flujos lentos. Teniendo en cuenta que, en el territorio contemplado, una evapotranspiración baja contribuye a mantener el agua en el suelo y a ralentizar el flujo ladera abajo, se diferenciaron 6 clases a partir de los valores de evapotranspiración potencial registrados en el territorio. La más valorada (6) correspondió a las zonas de menor evapotranspiración potencial y la menos (1) a las más áridas.

En relación con las temperaturas, las más bajas se dan en zonas montañosas en invierno, donde la lluvia produciría una mayor aceleración del flujo hídrico que en zonas con temperaturas suaves en invierno y una vegetación relativamente eficaz (plántulas invernales) para retener el agua en el suelo y facilitar flujos lentos de ladera. Así, los valores de *temperatura media del mes más frío* registrados en el territorio han servido para distinguir 6 clases, desde la perspectiva de la conectividad. Se consideró que un valor alto de esta temperatura durante el invierno permite cierto desarrollo de la vegetación herbácea, intercepción de la lluvia y ralentización del flujo hídrico en laderas. La clase más valorada (6) se asignó así a los valores altos de esta variable y la menos (1) a los más bajos. En cambio, al considerar la *temperatura media estival*, los valores más elevados indican una clara aridez y aceleración del flujo hídrico, de manera que los valores más bajos de esta variable se han considerado asociados a flujos relativamente más lentos. Se diferenciaron 6 clases. La menos valorada (1) correspondió a los valores más altos, propios de una aridez incapaz de contribuir a flujos hídricos o a ralentizarlos en caso de tormentas veraniegas, y la más valorada (6) a los valores más bajos⁵.

⁵ Algunas variables fueron consideradas para elaborar la cartografía ecológica de base, pero no fue posible estimar satisfactoriamente su participación en la conectividad. Este fue el caso de las variables siguientes:

- Días de helada. Sus valores más elevados se han relacionado con un menor desarrollo de la vegetación herbácea y dificultad para detener la escorrentía y la arroyada.
- Días de niebla. Su valor se estimó relacionado con una mayor permanencia de la actividad vegetal a lo largo del año, mayor capacidad de ésta de intercepción de la lluvia y ralentización del flujo hídrico.
- Días de nevada. Su valor se estimó relacionado con la mayor infiltración propia de los suelos de las zonas con nevadas frecuentes. En las áreas sin nevadas esta variable carece de valor a efectos de determinar el flujo de agua en las laderas.

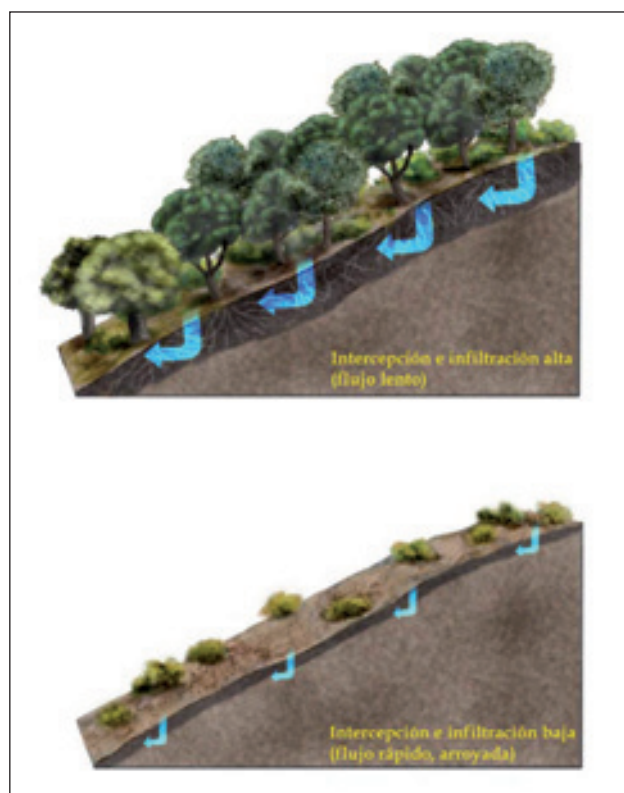


Figura 23. Esquema de la participación de la vegetación en la conectividad territorial. Para una pendiente del terreno dada, la intercepción del agua de lluvia y ralentización del flujo guarda relación con la barrera material que representa el dosel vegetal y el tipo de suelo asociado.

Para considerar la participación en la conectividad de los fenómenos abióticos asociados al tipo de vegetación se ha estimado la *intercepción* del agua de lluvia por cada tipo de formación vegetal. Esto informa de la capacidad de detener el impacto directo sobre el suelo de las gotas de lluvia por interferencia de la barrera física que representa el dosel vegetal. Un bosque denso o una pradera productiva mostrarían una mayor capacidad de intercepción y ralentización de los flujos hídricos superficiales que una formación vegetal de matorral disperso o un pastizal ralo (Fig. 23). De acuerdo con el tipo de vegetación registrado en cada punto del territorio, los valores de intercepción han sido clasificados definiéndose 6 clases, que fueron valoradas según su biomasa (Fig. 19a) y capacidad de ralentizar los flujos de agua y materiales en las laderas.

3.1.2. Conectividad horizontal debida a procesos biológicos

a) Fronteras asimétricas

Aunque componentes importantes de los procesos biológicos ligados a la conectividad se encuentran ya contenidos en el suelo y la vegetación, considerados antes al caracterizar los flu-

jos físicos, se han contemplado también los derivados de la presencia de fronteras asimétricas y del trasiego de la fauna. Un espacio horizontal homogéneo desde el punto de vista de la distribución de la vegetación acumula la misma cantidad de biomasa en todos sus puntos. No existen entonces diferencias espaciales en el capital energético contenido en esa biomasa. Por el contrario, la heterogeneidad y la complejidad en la configuración territorial de las unidades de vegetación y de usos rurales del espacio originan diferentes tipos de fronteras entre esas unidades⁽²²⁹⁾. Dependiendo de la tipología de la vegetación los acúmulos de biomasa a uno y otro lado de esas fronteras pueden ser muy diferentes y, en consecuencia, la «tensión» energética puede ser muy notable en ellas.

Los sistemas de mucha biomasa suelen tener más baja tasa de renovación y son menos productivos que los de escasa biomasa, a igualdad de disponibilidad de agua. La pradera y el bosque vecino son un ejemplo de esto. Esta tensión energética genera un flujo energético potencial desde las porciones más productivas a las que lo son menos. Los animales pueden materializar este flujo explotando con diferente intensidad uno y otro espacio.

La configuración celular o mosaicista de muchos territorios, a base de teselas, «manchas»^(87,88) o unidades fisionómicas de aparente acumulación homogénea de biomasa (Fig. 26), determina, pues, la aparición de fronteras netas entre tales unidades y también la existencia de gradientes difusos entre ellas⁽⁵⁹⁾. Con esta consideración, se ha valorado el parámetro *tensión energética*. Su variación informa del flujo energético potencial entre teselas del territorio a través de fronteras ecológicas asimétricas del tipo descrito (Figs. 24 a 27) y el tiempo de permanencia de la energía en la «parte viva» del ecosistema. Este tiempo lo proporciona la expresión⁽¹⁶⁵⁾,

$$S = \sum b_i \times t_i$$

donde S representa, en unidades de tiempo, la permanencia de la energía en esa parte; b_i es la biomasa relativa de una especie vegetal i ($\sum b_i = 1$) y t_i la edad media de esa especie. El territorio puede cartografiarse de acuerdo con los valores reales de esta expresión o bien, conociéndose relativamente bien la composición de la vegetación, llevarse a cabo estimas de la clase energética a la que pertenecería cada lugar del territorio. De acuerdo con esto, según la asimetría mostrada por las tasas de renovación estimadas para la vegetación, los valores de la tensión energética entre las unidades del territorio contemplado han sido clasificados en 9 clases, que fueron valoradas en términos de su contribución a la conectividad. La mayor tensión energética en una frontera se ha considerado como el valor más alto de contribución y la menor tensión como el más bajo.

b) Trasiego de la fauna

Sin considerar tensiones que converjan en fronteras asimétricas, el trasiego de animales a escala local, comarcal o regional constituye por sí mismo un componente notable de la conectividad ecológica. Se ha ensayado un procedimiento para su representación junto a los tipos de conectividad antes descritos, teniendo en cuenta la movilidad de la fauna vertebrada⁽²³⁶⁾ y considerando la presencia de infraestructuras de transporte. Esto se hizo así porque un objetivo perseguido en el estudio era el conocer los puntos de tensión debidos a interferencia potencial entre la conectividad ecológica y este tipo de infraestructuras. Con esta idea, la movilidad se ha descrito cualitativamente para diferentes características como, por ejemplo, el *acceso a infraestructuras humanas de transporte*, que representa el «grado de uso» de la vía



Figura 24. El paisaje, particularmente el paisaje rural cultural, suele mostrar unidades fisionómicas («manchas» o teselas) separadas nítidamente por fronteras que permiten apreciar el diferente manejo del espacio, que queda así organizado como un mosaico. Este manejo tiende a distribuir la biomasa vegetal acumulada generando cierta heterogeneidad espacial y alcanzando valores muy diferentes en unas y otras unidades.

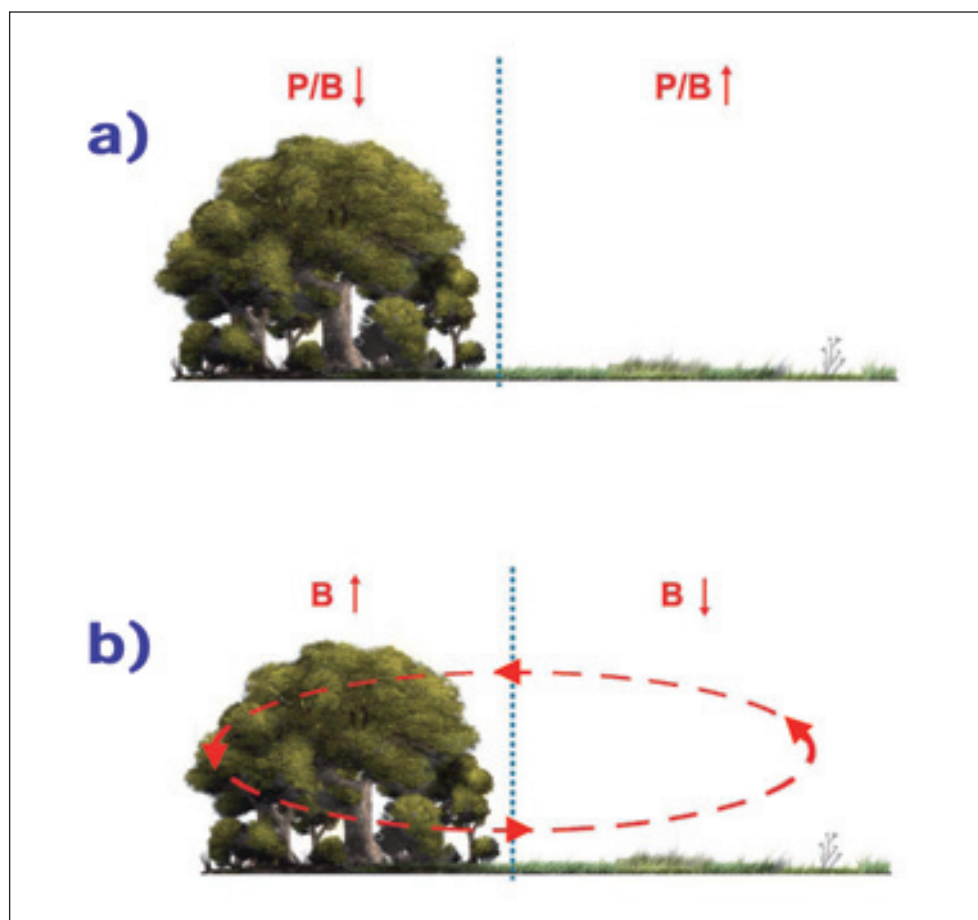


Figura 25. a) Esquema de una frontera ecológica asimétrica por acumulación diferencial de biomasa (B) a uno y otro de sus lados. El bosque acumula mucha y, si se trata de una formación madura, su producción primaria (P) será baja, en comparación con el pastizal vecino, más productivo y capaz de mantener una carga de herbívoros mucho mayor. La tasa de renovación de la biomasa (P/B) toma valores distintos a uno y otro lado e indica el diferente tiempo (t) de permanencia de la energía en cada uno de estos sitios ($P = B/t$). En el bosque, la edad de los árboles y la materia orgánica del suelo indican que ese tiempo es elevado. En el pastizal es muy corto. b) Durante el día el bosque, que acumula mucha agua, se calienta más lentamente que el pastizal, que genera una célula convectiva en el sentido indicado por las flechas. El viento resultante participa en la conectividad horizontal al transportar en suspensión diferentes materiales inertes y biológicos de un lado a otro de la frontera. Durante la noche, el suelo del pastizal se enfría más rápidamente que el del bosque y la célula cambia el sentido del transporte.

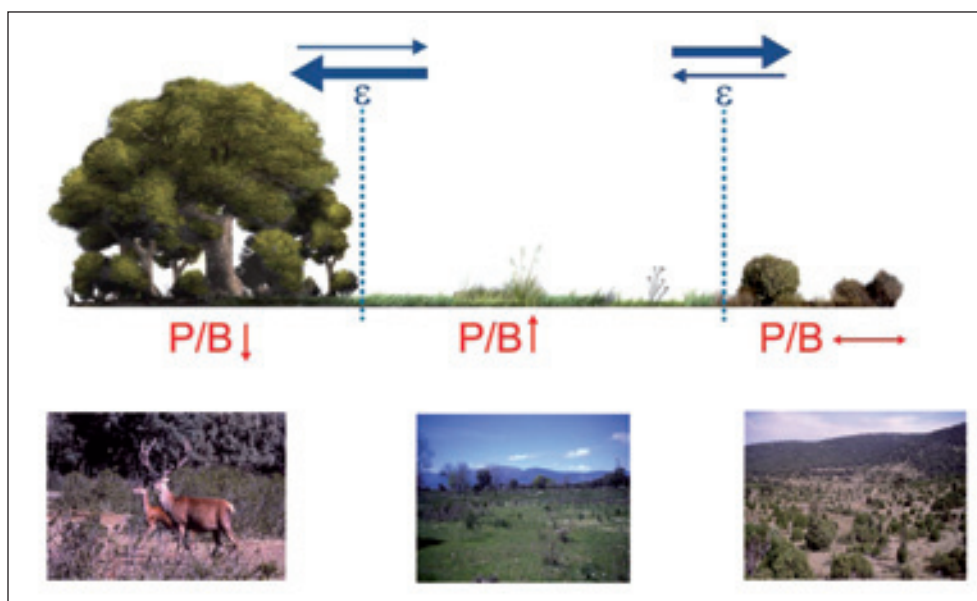


Figura 26. Representación de la tensión energética en fronteras asimétricas. El flujo potencial de energía (ϵ) es debido principalmente al trasiego animal y generaría un balance negativo para el lugar de mayor tasa de renovación (por ejemplo, el pastizal) en contacto con el de menor tasa (el bosque o el matorral). Las flechas de arriba indican la intensidad del flujo energético potencial en dos direcciones contrarias a través de las fronteras (en el interior de cada una de las formaciones vegetales representadas este tipo de flujo sería nulo). Las fotografías de abajo muestran, de izquierda a derecha, ejemplos de unidades espaciales de baja, alta y media tasa de renovación de la biomasa.

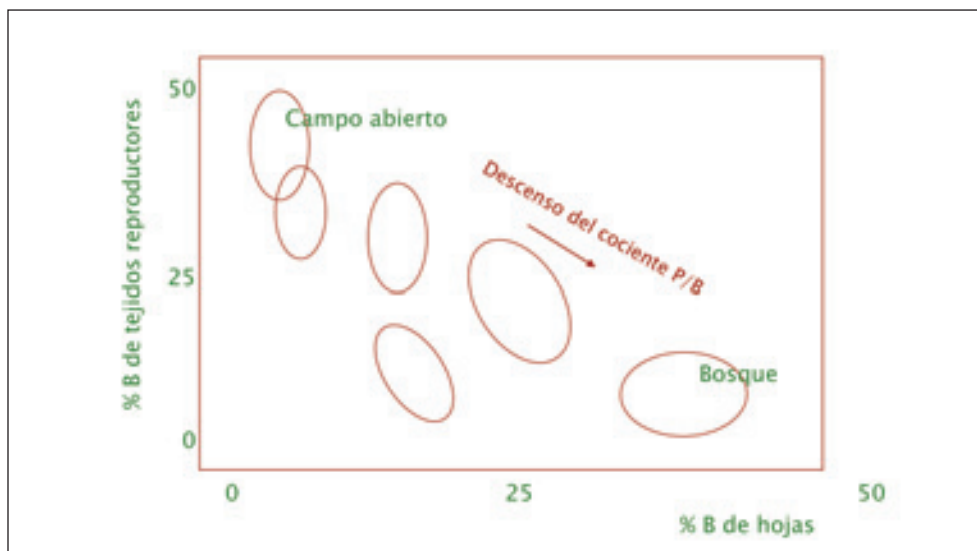


Figura 27. Capitalización de la biomasa en hojas y en tejidos reproductores de diferentes tipos de ecosistemas (elipses)⁽¹⁾. El flujo potencial de energía a través de fronteras ecológicas, debida principalmente al trasiego animal, sobre todo de grandes herbívoros, puede venir determinado generalmente por el consumo de frutos o de hierba y más difícilmente por el consumo de hojas de árboles.

en alimentación (animales carroñeros), refugio y herbivoría o frugivoría (setos de medianas de autopistas, humedad de cunetas, etc.); la *movilidad en su hábitat*, que identifica el carácter sedentario (por ejemplo, salamandras) o de trasiego activo (jabalí) de la especie; la *velocidad de movimiento*; la *altura de desplazamiento sobre el suelo*; su *capacidad de superar obstáculos*, que determina la facilidad de cruzar las estructuras consideradas (muy alta en las aves, baja en reptiles) y su *capacidad de reacción*, que determina la viveza de la reacción del animal ante la presencia de vehículos que se mueven velozmente (ver Apéndice 4a).

Un análisis multivariante de ordenación y una posterior clasificación del conjunto de especies descrito mediante estas variables –SPAD.N⁽²⁶³⁾– sirvió como información previa para obtener «clases» de especies de la fauna según su movilidad y comportamiento potencial ante la presencia de las infraestructuras de transporte contempladas. La clasificación se realizó sobre los seis primeros ejes de la ordenación, que sumaban una alta absorción de varianza, obteniéndose diez clases identificables mediante las variables de movilidad de mayor valor discriminante en la clasificación (Apéndice 4b). La valoración de estas clases se hizo estimándose la mayor o menor facilidad de interferencia de la movilidad con la presencia de infraestructuras.

3.1.3. Formalización y cartografía de la conectividad horizontal

El cálculo de la conectividad horizontal, representada mediante un conjunto de vectores que relacionan entre sí diferentes puntos del territorio, puede seguir un procedimiento general basado en la generación de una malla cuadrangular o *grid* de dimensiones *xyz*, compuesta por «nodos» o puntos de intersección de las coordenadas de los datos correspondientes a esas dimensiones –SURFER⁽²⁶⁶⁾–. Pueden usarse diferentes métodos de creación de *grids* según el tipo de conectividad estudiada. La información contenida en los nodos de los *grids* permite obtener mapas de vectores, cuya magnitud y dirección representan la caracterización de la conectividad resultante en cada punto del territorio (Fig. 28).

El procedimiento puede basarse en el cálculo diferencial de un gradiente de variación de las características ligadas a los nodos, por medio de derivadas parciales direccionales⁽²⁵³⁾. Para ello debe considerarse la información asociada a las coordenadas espaciales de cada uno de los nodos y de sus vecinos (Fig. 29a). La definición del gradiente puede seguir la expresión:

$$||g|| = \sqrt{\left[\frac{\delta z}{\Delta x}\right]^2 + \left[\frac{\delta z}{\Delta y}\right]^2}$$

donde, *g* es la magnitud del gradiente, *x* e *y* las coordenadas espaciales de los nodos y *z* la información vectorial de cada nodo, que puede ser asociada a esas coordenadas.

Con referencia a las notaciones de la Figura 29a, la ecuación utilizada puede ser:

$$||g|| = \sqrt{\left[\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right]^2 + \left[\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right]^2}$$

donde, E, W, N y S indican la posición relativa de los nodos vecinos del nodo del que parte el cálculo (*z*).

Utilizando esta expresión, el cálculo de las derivadas en el nodo z puede desarrollarse de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 1. \quad \frac{dz}{dx} &= \frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x} \quad ; \quad \frac{dz}{dy} = \frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y} \\
 2. \quad \frac{d^2z}{dx^2} &= \frac{Z_E - 2Z + Z_W}{\Delta x^2} \quad ; \quad \frac{d^2z}{dy^2} = \frac{Z_N - 2Z + Z_S}{\Delta y^2} \\
 3. \quad \frac{d^2z}{dxdy} &= \frac{Z_{NE} - Z_{NW} - Z_{SE} + Z_{SW}}{4\Delta x\Delta y} \\
 4. \quad \frac{d^4z}{dx^4} &= \frac{Z_{WW} - 4Z_W + 6Z - 4Z_E + Z_{EE}}{\Delta x^4} \\
 \frac{d^4z}{dy^4} &= \frac{Z_{NN} - 4Z_N + 6Z - 4Z_S + Z_{SS}}{\Delta y^4} \\
 5. \quad \frac{d^4z}{dx^2 dy^2} &= \frac{Z_{NW} - 2Z_N + Z_{NE} - 2Z_W + 4Z - 2Z_E + Z_{SW} - 2Z_S + Z_{SE}}{4\Delta x\Delta y}
 \end{aligned}$$

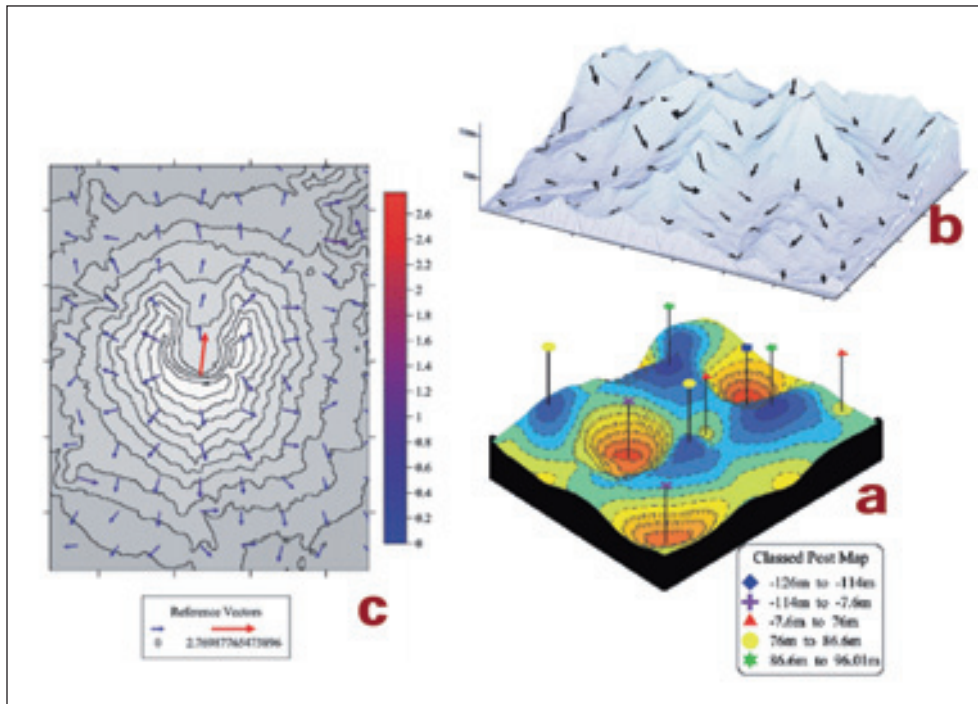


Figura 28. Mapas de vectores generados a partir de datos originales (a). Los vectores representan la conexión entre diferentes puntos del espacio. La dirección y longitud de las flechas (b,c) indican el camino y magnitud de los flujos⁽²⁶⁶⁾.

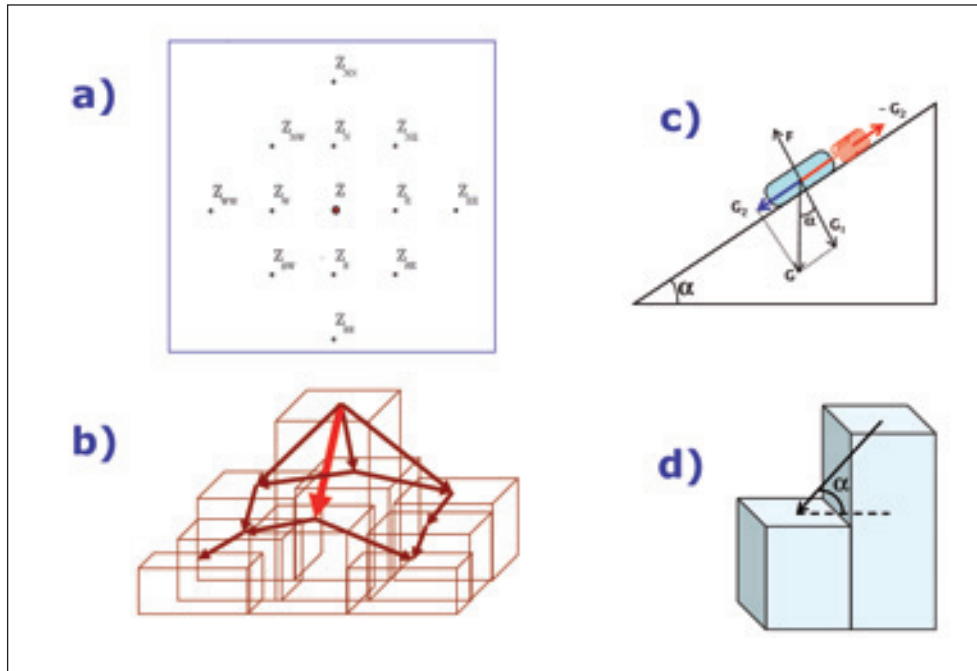


Figura 29. a) Configuración espacial y notación de los nodos utilizados en el cálculo diferencial del gradiente de variación de las características asociadas al *grid*. El nodo Z del centro del diagrama indica el punto del *grid* donde comienza el cálculo. b,d) Esquema de la variación de la intensidad y dirección del flujo. Si el parámetro representado depende de la altitud de cada cuadrícula del terreno, la dirección viene determinada por el mayor contraste de valor entre cuadrículas próximas, mientras que su longitud indica la magnitud del salto. La resultante de las posibilidades recogidas en la figura sería la flecha roja. c) Expresión del movimiento de una masa a lo largo de una superficie plana inclinada. G_1 representa la fuerza de ligadura (una fuerza normal que representaría la opresión de una superficie contra otra; G_2 es la fuerza de rozamiento, a la que podría equipararse la capacidad de retención del agua del suelo; la fuerza F equilibra a G_1 ; $F = G \cos \alpha$; $G_2 = G \sin \alpha$; $G_2 = G_1 \tan \alpha$. Se tiene que $G_2 = f G_1$; $f = \tan \alpha$, es decir, $f = G_2/G_1$, siendo f el coeficiente de rozamiento, que depende de la naturaleza de las superficies. Para incluir los componentes de la conectividad en el *grid* se usaron cuadrículas como referencia (b,d).

De acuerdo con la formulación comentada, considerando los parámetros físicos vinculados a las conexiones espaciales horizontales, puede obtenerse un mapa de vectores de conectividad, representado por medio de flechas con diferente dirección y magnitud. Para ello deben generarse dos *grids* con los mismos componentes cartesianos, x e y , y una dimensión z . En ambos casos el algoritmo matemático utilizado puede ser el de *minimum curvature*, que proporciona una superficie de interpolación a partir de un ajuste a un modelo lineal simple (*simple planar regression*), utilizando el método de los mínimos cuadrados⁽²⁵⁸⁾:

$$Z(X,Y) = AX + BY + C$$

El primer *grid*, que contiene información simple sobre la variación altitudinal del territorio, permite calcular la dirección de los flujos físicos –partiendo de zonas elevadas y dirigiéndose a zonas con menor altitud (Fig. 29b)–. En el segundo, los valores de la dimensión z

proceden, en el caso estudiado, del cálculo matricial realizado a partir de: *i*) una *matriz* de 9.015 cuadrículas o celdas territoriales de 2×2 km descritas por las 49 variables abióticas que fueron comentadas más arriba y que componen la conectividad física –los elementos a_{ij} de esta matriz representan el valor porcentual espacial que toma la variable i en la observación j –; *ii*) un *vector* que representa la influencia en la ralentización de los flujos de agua de cada una de estas variables. Los componentes b_i de este vector indican el valor que presentan las variables físicas según su capacidad de retención de agua. El producto de la matriz por el vector ($\sum a_{ij} \times b_i$) da como resultado un nuevo vector cuyos elementos ab_j representan la *capacidad de ralentización* de los flujos de agua de cada cuadrícula analizada en el territorio. Este nuevo vector representa la magnitud de los flujos físicos. A manera de ensayo, el conjunto de datos asociado a las 9.015 cuadrículas mencionadas, que abarcaban un territorio muy extenso, se amplió con otro de 98.181 cuadrículas de 100×100 m, proporcionando una escala de mayor detalle para una porción menor del territorio, en la que la conectividad, expresada por los vectores resultantes, era más fácilmente identificable (fotografiable) sobre el terreno. La secuencia de los productos ($\sum a_{ij} \times b_i$) llevados a cabo se muestra en el Apéndice 5.

El mapa final de vectores, cuya dirección y magnitud representan la conectividad vinculada a fenómenos físicos, procede, pues, de la combinación de dos *grids* generados a partir de las mismas referencias espaciales.

Junto a la *pendiente* de la ladera (Fig. 17), un parámetro importante incorporado a la caracterización de la conectividad física debida a la ralentización del flujo hídrico en el terreno, tiene que ver con la *infiltración* del agua en el suelo (Figs. 8,17,20,21,23). Esta característica se ha considerado equivalente a la fuerza de rozamiento de una masa deslizándose por una superficie inclinada. En la Figura 29c se presenta la relación entre la pendiente (α) de una ladera que recibe una masa dada de agua (G) determinada por la pluviosidad en un periodo de tiempo dado y la capacidad de retención del movimiento de ese agua ladera abajo (G_2 o «fuerza de rozamiento»), es decir, una fuerza tangencial que determina el movimiento de esa masa a lo largo de la superficie inclinada (un dinamómetro marcaría una fuerza equivalente a G_2). En la formalización numérica de este componente de la conectividad se ha considerado que la fuerza G_2 es equivalente a la infiltración que permite cada tipo de suelo, y se ha cuantificado ordinalmente de acuerdo con clases de valor asignadas a los tipos de suelos encontrados en el área (Fig. 21). En la Figura 29c, G_1 representa la fuerza de ligadura como fuerza normal que supone la opresión de una superficie contra otra. G_2 es la fuerza de rozamiento, a la que podría equipararse la capacidad de retención del agua del suelo; la fuerza F equilibra a G_1 .

Se tiene que $G_2 = f G_1$. El coeficiente de rozamiento, f , que depende de la naturaleza de las superficies, equivale a $\tan \alpha$; es decir, $f = G_2/G_1$. La cantidad de agua incorporada como masa infiltrante debe asimilarse a un periodo corto de tiempo pues una lluvia prolongada determina la saturación en agua del suelo en superficie y el deslizamiento del agua por la ladera, aumentando la relación escorrentía/infiltración, dependiendo del valor de la pendiente y capacidad de campo del suelo. Esa relación es baja al comienzo de la lluvia y aumenta si ésta continúa con el tiempo. Obviamente, el tipo de vegetación que crece en el terreno representa también una contribución al valor de f , como también la evapotranspiración⁶.

⁶ El proceso es complejo, de manera que el modelo utilizado en el estudio de caso está simplificado y tiene valor comparativo de las magnitudes de retención del flujo entre unos sitios y otros.

En cuanto a la unidad espacial o celda a la que se aplique la información, a lo largo de una ladera pueden coexistir diferentes desarrollos edáficos (Fig. 21) de manera que la resultante de la conectividad calculada depende del tamaño de la celda. Si ésta es suficientemente pequeña, depende de la posición que ocupe a lo largo de la ladera. Los ensayos que contiene la presente monografía se refieren a las dos escalas antes mencionadas: el conjunto de celdas de 2×2 km, cuya resultante sólo resulta válida en realidad como ensayo metodológico, y celdas de 100×100 m, que son mucho más detalladas y más fácilmente visibles sobre el terreno.

Para algunos casos concretos, por ejemplo, proyectos desarrollados para la evaluación de la interferencia entre la conectividad ecológica de una comarca dada y el trazado de una nueva infraestructuras de transporte, las celdas de referencia han de ser suficientemente pequeñas como para apreciar el fenómeno sobre el terreno. Un estudio actualmente en desarrollo por los autores de este libro sobre el trazado de una autovía de circunvalación de Madrid toma como referencia un *grid* de 50×50 m.

Por su parte, la formalización y cartografía de los procesos biológicos relacionados con tensiones energéticas entre fronteras asimétricas parte del cálculo de un único *grid* inicial. Los componentes cartesianos x e y mantienen idénticas referencias espaciales que las implicadas en el cálculo de la conectividad derivada de flujos físicos, mientras que la dimensión z representa ahora los valores de la tasa de renovación de la vegetación asociada a cada cuadrícula. El algoritmo de interpolación utilizado ha sido el *natural neighbour*⁽²⁵⁵⁾, basado en el valor de la media ponderada de las observaciones vecinas.

El cálculo del gradiente de variación de los flujos horizontales a partir de derivadas direccionales, permite obtener un mapa de vectores representados por flechas cuya dirección viene determinada por el mayor contraste de valor entre nodos próximos y su longitud viene dada ahora por la magnitud de los flujos potenciales energéticos.

Finalmente, en la formalización y presentación cartográfica de los procesos biológicos relacionados con la movilidad de la fauna, se ha llevado a cabo un ensayo metodológico que parte de: *i*) una matriz de 400 cuadrículas territoriales (10×10 km) descritas por las 62 especies animales consideradas (en este caso a_{ij} indica la presencia-ausencia de cada una de estas especies en cada cuadrícula); *ii*) un vector cuyos elementos b_i representan el valor de movilidad de las especies, según su pertenencia a las comunidades faunísticas descritas a partir de variables relacionadas con su facilidad de desplazamiento en función de la presencia de infraestructuras. El producto de la matriz por el vector ($\sum a_{ij} \times b_i$) da como resultado un nuevo vector cuyos elementos ab_j representan la movilidad potencial de la fauna estudiada en cada cuadrícula el territorio.

3.2. Interacción conectividad ecológica-infraestructuras

La interferencia entre la conectividad ecológica y la red de infraestructuras humanas de transporte comentadas en los apartados anteriores se ha analizado mediante un conjunto de matrices de impacto,

$$[C \times R]$$

donde C representa las características de la conectividad ecológica y R las de la red de infraestructuras. Los elementos de esta matriz representan las incidencias de las características de

esta red sobre los componentes de la conectividad ecológica. Esta última se describe a través de los fenómenos y procesos comentados.

La conectividad se ha estudiado por separado para: *i) fenómenos físicos; ii) asimetrías ecológicas y iii) trasiego de la fauna*. Para cada uno de estos tres tipos de conectividad se ha descrito la incidencia de 12 características de las infraestructuras. Esta incidencia se presenta a su vez por separado para autopistas y autovías, para carreteras y vías rápidas y para caminos y vías pecuarias. En cada una de estas vías aquellas características tienen una relevancia diferente (por ejemplo, el radio de curva es mucho mayor en una autopista que en un camino, las primeras llevan vallados y éstos no, etc.). Se tienen, pues, 36 análisis diferentes para cada uno de los tipos de conectividad (12 características x tres clases de infraestructuras) y, de esta manera, 108 tipos de interacciones (36 análisis x 3 tipos de conectividad).

Los resultados de algunas de estas interacciones se presentan en mapas que indican el grado de incidencia de la clase de infraestructura sobre la conectividad ecológica. En primer lugar, se han definido los componentes de la conectividad con referencia a los fenómenos y procesos ya indicados. Luego se han representado cartográficamente los tipos de conectividad considerados. Se han referido como vectores asociados a cuadrículas de 2x2 km que cubrieron todo el territorio. Cada vector es el resultado de los componentes de la conectividad y ha sido representado en el mapa con la dirección resultante del flujo y la importancia del mismo. En el caso de la conectividad derivada del trasiego de la fauna la información disponible ha permitido disponer de unidades territoriales referidas sólo a cuadrículas de 10x10 km. En tercer lugar, se han descrito los componentes de las infraestructuras de transporte y, por último, se ha estimado la interferencia infraestructuras-conectividad. Para ello se ha supuesto que cada una de las clases de infraestructuras contempladas afectaba hipotéticamente, con cada una de sus características, a los componentes de la conectividad de cada una de las cuadrículas de referencia.

- *Valoración de los componentes de la conectividad*. Se ha llevado a cabo mediante el procedimiento descrito en Montalvo *et al.*⁽¹⁷⁹⁾ aplicándose el modelo general con las modificaciones adecuadas al tipo de datos y objetivos del presente estudio. Otras aplicaciones de los trabajos previos de la escuela de F.G. Bernáldez pueden verse en diferentes trabajos^(63,64,245). Se ha valorado cada uno de los componentes de la conectividad de acuerdo con una «escala de referencia» jerárquica u ordinal⁽⁵²⁾ elaborada con los criterios ya comentados en apartados anteriores. Esta escala ha permitido asignar, dentro de cada componente de la conectividad, un «valor actual» relativo para las distintas clases en que se ha dividido su variación.

La valoración ha tenido en cuenta el «interés naturalístico» y la «estabilidad» de los fenómenos que componen la conectividad, así como la «reversibilidad» o «resiliencia» ecológica en caso de una afección grave. Las magnitudes que muestran los componentes de la conectividad en cada cuadrícula del territorio han sido agrupadas en clases. Estas clases han sido valoradas de acuerdo con aquella escala jerárquica, según la importancia con que los valores de estos componentes contribuyen al mantenimiento de la conectividad en cada lugar.

Fue posible diferenciar ordinalmente un número determinado de clases de valor en relación con su aportación a la conectividad para doce componentes: pendiente media de las laderas presentes en cada cuadrícula (6 clases), orientación resultante del terreno (5), infiltración edáfica media (7), precipitación media anual (6), precipitación media

primaveral (6), precipitación media estival (6), evapotranspiración potencial (6), temperatura media (mes más frío) (6), temperatura media (mes más cálido) (6), intercepción media ponderada en función de los porcentajes de tipos de vegetación de la cuadrícula (10), grado medio ponderado de asimetría de las fronteras (6) y movilidad de la fauna registrada en la cuadrícula (8). En el caso de la valoración ordinal otorgada a la precipitación media primaveral en el área contemplada, ésta varió desde 6 (56,7-71,8 mm óptima para el área de estudio) a 1 (109,9-125,4 mm, considerada como la peor por excesiva, incapacidad de retención del flujo hídrico y capacidad erosiva). El valor de 3 se asignó tanto por defecto (escasa precipitación, 34-41,5 mm) como por exceso (87,1-94,6 mm; precipitaciones mayores se consideraron excesivas para la tipología de los suelos del área y se valoraron más bajas) (Fig. 30).

- *Estimación de la pérdida o ganancia de conectividad.* Valorado cada uno de los componentes de la conectividad, la escala jerárquica u ordinal de referencia permitió asignar para cada componente de la conectividad un «valor final» (el nuevo lugar que ocuparía la clase en cuestión en esa escala) tras estimar la afección que cada característica de la infraestructura provocaría en el funcionamiento inicial de la conectividad. Esta estima se hizo a partir de situaciones reales observadas en el territorio en nume-

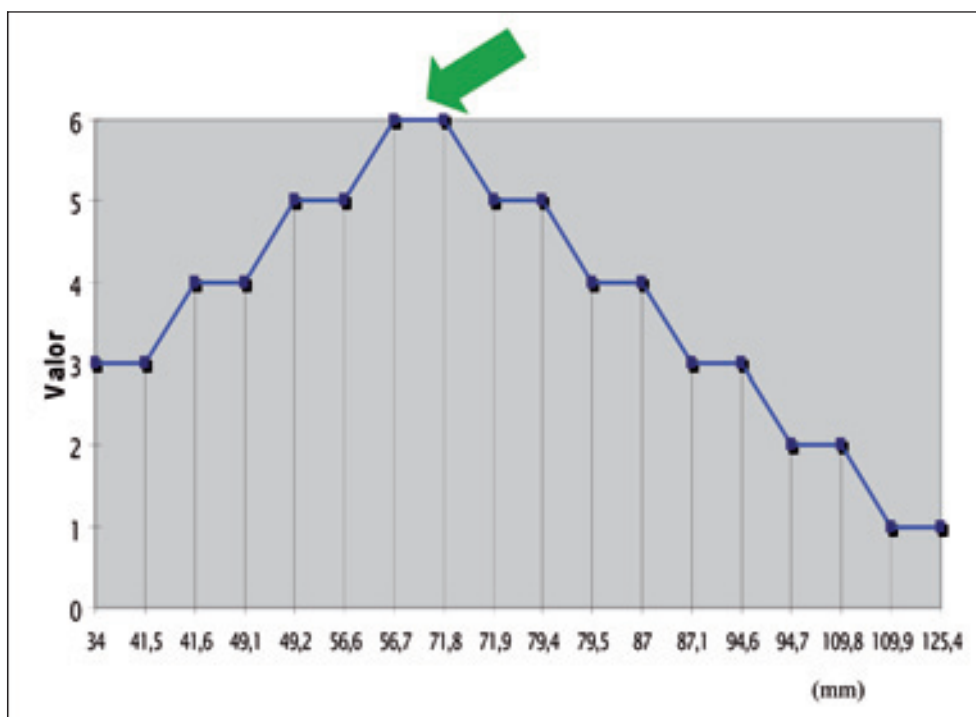


Figura 30. Distribución de valores de la precipitación media primaveral (marzo) en el conjunto de cuadrículas del área de estudio. La valoración ordinal otorgada a este componente de la conectividad se presenta en ordenada, descendiendo el valor de las cuadrículas desde 6 (óptima para el área de estudio) a 1 (la peor por excesiva precipitación, incapacidad de retención del flujo hídrico y capacidad erosiva). El valor de 3 se asignó tanto por defecto (escasa precipitación, 34-41,5 mm) como por exceso (87,1-94,6 mm; precipitaciones mayores se consideraron excesivas para la tipología de los suelos del área y se valoraron más bajas).

rosos recorridos de campo. Así, para cada componente de la conectividad y característica de la infraestructura, el impacto, Δv , se ha estimado como la diferencia entre el valor final, v_f , y el actual, v_a :

$$\Delta v = v_f - v_a$$

Este coste ambiental o «impacto» se ha estimado considerando, por un lado, la modificación de los flujos de materia que mantienen la conectividad y, por otro, la ruptura de esos flujos. En el primer caso, se ha tenido en cuenta que la naturaleza tiende a ralentizar esos flujos y a generar una permanencia duradera de la energía, el agua y otros materiales dentro de las estructuras ecológicas. Dentro de los condicionantes impuestos en cada lugar por el sustrato, la topografía y el clima, la interferencia se entiende como una alteración del papel desempeñado por la biomasa, el suelo o la vegetación (todos suponen una intercepción hídrica) en esa ralentización. Por ejemplo, el talud de una carretera provoca el drenaje del agua contenida en los suelos de la ladera afectada por el trazado de aquélla y modifica la conectividad que el flujo laminar subsuperficial mantenía ladera abajo (Fig. 31). En otros casos de ruptura de flujos, la interferencia de una carretera se entiende como el impedimento a los trasiegos energéticos a través de fronteras ecológicas asimétricas o a la movilidad de la fauna

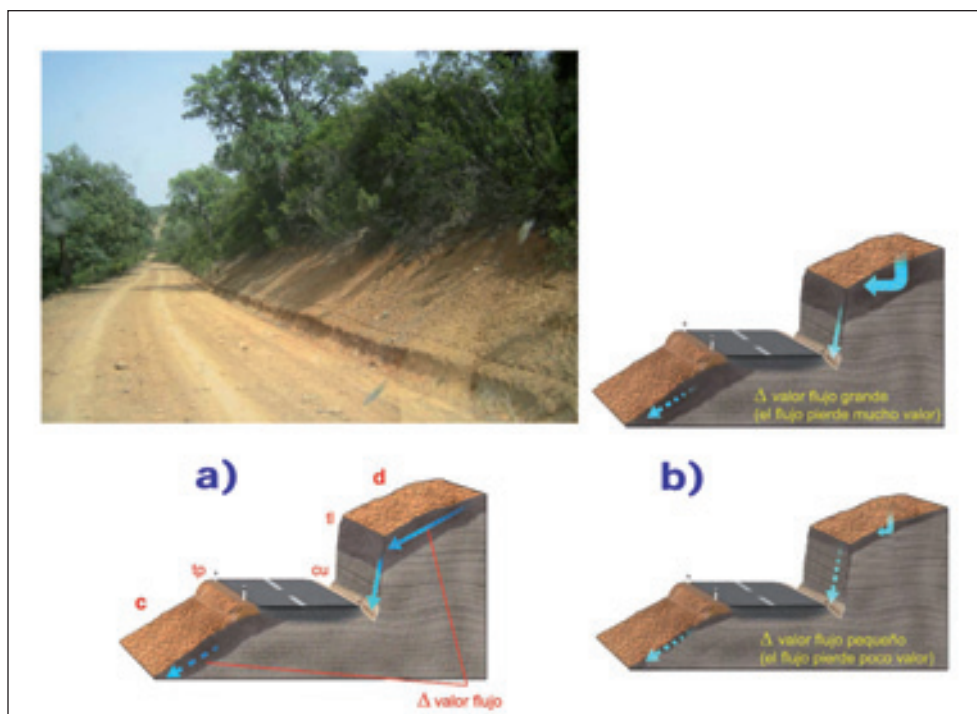


Figura 31. a) El desmonte o talud (tl) y la cuneta (cu) de un camino forestal provocan el drenaje de una ladera, que deja de suministrar el flujo laminar que tenía lugar antes de este trazado (d y c). El terraplén (tp) puede provocar también cierta alteración de este flujo, pero relativamente menos importante. b) Diferente impacto provocado por las mismas características de la carretera en los flujos de laderas con diferente grado de desarrollo del suelo.

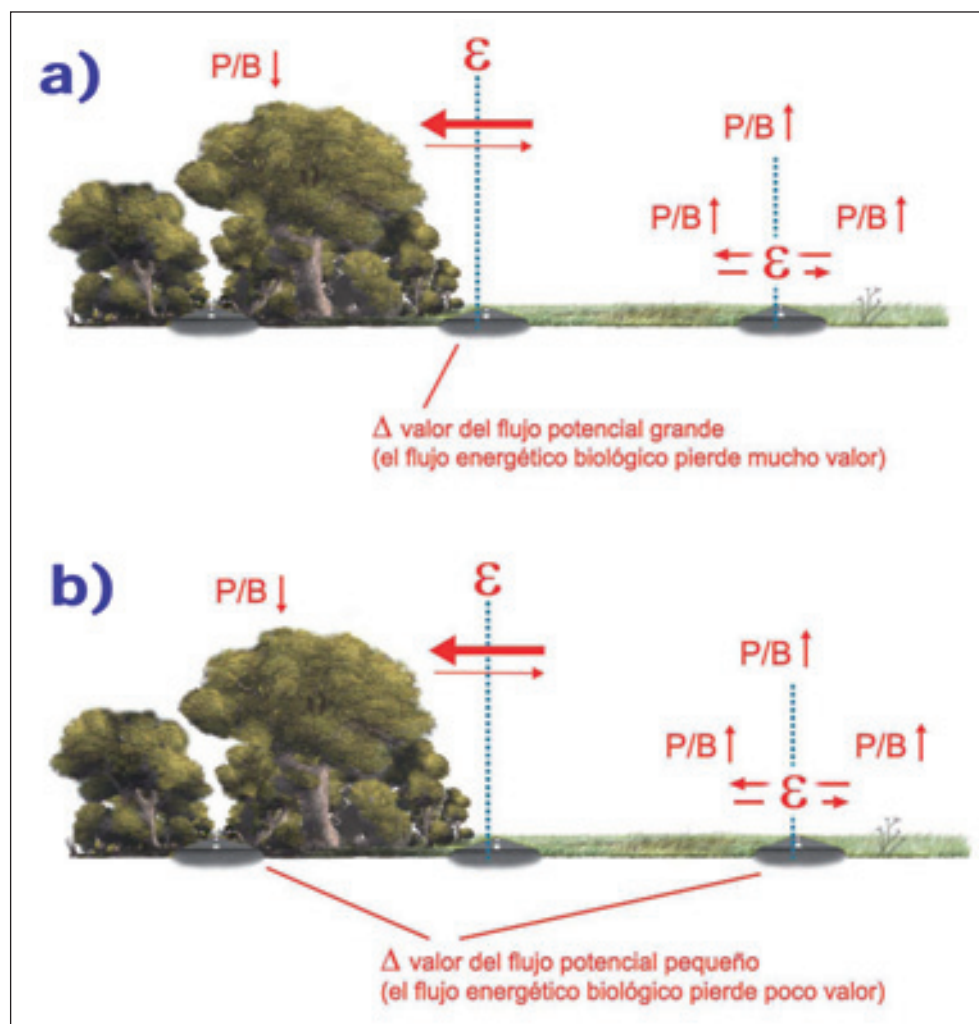


Figura 32. a) El trazado de una carretera a lo largo de una frontera asimétrica afecta a la conectividad debido a la tensión energética entre dos unidades ambientales (diferentes valores del cociente P/B). b) El trazado no representa el mismo tipo de afección cuando tiene lugar lejos de la frontera.

(Fig. 32). La ruptura de flujos puede presentar situaciones muy diferentes dependiendo de la heterogeneidad y complejidad del territorio atravesado (Fig. 33), de manera que, en todo caso, la planificación ambiental de las infraestructuras debe prever, entre otros impactos, que el trazado minimice los costes a la conectividad del tejido territorial.

En el estudio de caso presentado aquí, los costes derivados del trazado de las infraestructuras se han estimado como pérdidas de valor producidos en cada uno de los puntos de la red regular de 2x2 km de malla. Los resultados de estos costes se han expresado cartográficamente, indicándose para cada punto la afección de la conectividad. Esta afección se ha de-

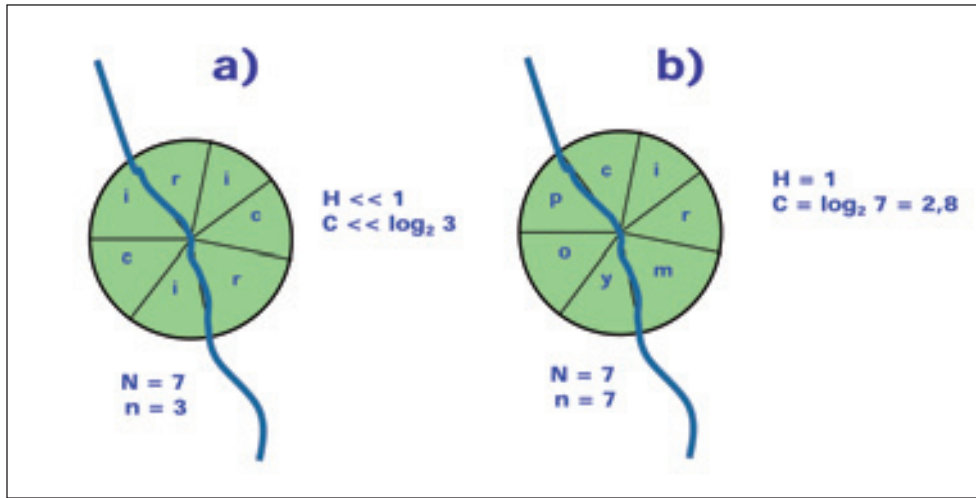


Figura 33. La heterogeneidad (H) y la complejidad (C) de dos territorios distintos tienen consecuencias diferentes para la conectividad ante el trazado de una carretera (línea azul). En el área de la izquierda la heterogeneidad y la complejidad espacial son pequeñas⁽²²⁹⁾. Este área tiene tres tipos de teselas (*i*, *c* y *r*), siete fronteras (N) de separación entre ellas pero sólo tres tipos (n) de fronteras (*i/c*, *i/r* y *c/r*). El área de la derecha es más heterogénea y compleja, tiene siete fronteras entre teselas y cada una es de un tipo diferente.

finido por su dirección e importancia. En el caso de alguna infraestructura los costes producidos pueden no ser tales, sino ganancias, si ha podido estimarse que contribuyen al mantenimiento de la conectividad.

En las matrices de impacto, $[C \times R]$, los costes estimados por la afección de las infraestructuras de transporte (Δv) se refieren a la modificación o ruptura de los flujos en cada punto del territorio. En un lugar determinado, un componente de la conectividad dado (por ejemplo, la pendiente del terreno) participa en el mantenimiento de esos flujos de acuerdo con la clase a que pertenece la magnitud del componente en ese lugar. La infraestructura afectará allí a los flujos en mayor o menor medida dependiendo de esa magnitud y de la intensidad de la perturbación que la infraestructura supone.

Se ha calculado el impacto temático o «parcial» —la pérdida de valor ocasionada por una característica dada de las infraestructuras sobre un único componente de la conectividad— y el impacto «ambiental» o integrado —el ocasionado por esa característica sobre el conjunto de componentes de la conectividad—. Una referencia para explicar la estimación del impacto parcial se tiene en los esquemas de las Figuras 31 a 35.

La importancia relativa de las características de las infraestructuras en el impacto ambiental se ha obtenido a través del cálculo de los coeficientes, b_i , de un modelo de regresión lineal⁽¹⁷⁹⁾,

$$I_R = b_1 \Delta v_{C1} + b_2 \Delta v_{C2} + b_3 \Delta v_{C3} + \dots + b_n \Delta v_{Cn}$$

donde I_R es el impacto ambiental producido por la característica R de una infraestructura de transporte dada y b_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) son los coeficientes indicadores del grado en que la pérdida

Estudio de casos

de valor ocasionada por la característica R afecta relativamente a cada uno de los n componentes de la conectividad (apartados 3.1.1 y 2). Δv_{C_i} es el impacto parcial estimado en esos componentes C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). La suma ponderada que ofrecen estos coeficientes evita el problema de agregar los diferentes componentes en que se ha descompuesto la conectividad: un proceso descrito a través de cualidades heterogéneas.

Se calculó una ecuación de regresión para cada característica de las infraestructuras. Los coeficientes b_i se calcularon como las incógnitas de un sistema de ecuaciones donde Δv_{C_i} son los valores de los impactos parciales de una característica dada de la infraestructura, estimados para cada cuadrícula del territorio, e I_R el rango que corresponde en una escala de referencia elaborada a partir de un conjunto de 50 cuadrículas del territorio, seleccionadas sistemáticamente por ser bien conocidas por su sensibilidad y resistencia a los componentes de las infraestructuras consideradas, y otras 50 cuadrículas seleccionadas al azar. Ese rango corresponde a una «escala de sacrificio» elaborada para ese conjunto de cuadrículas en función de

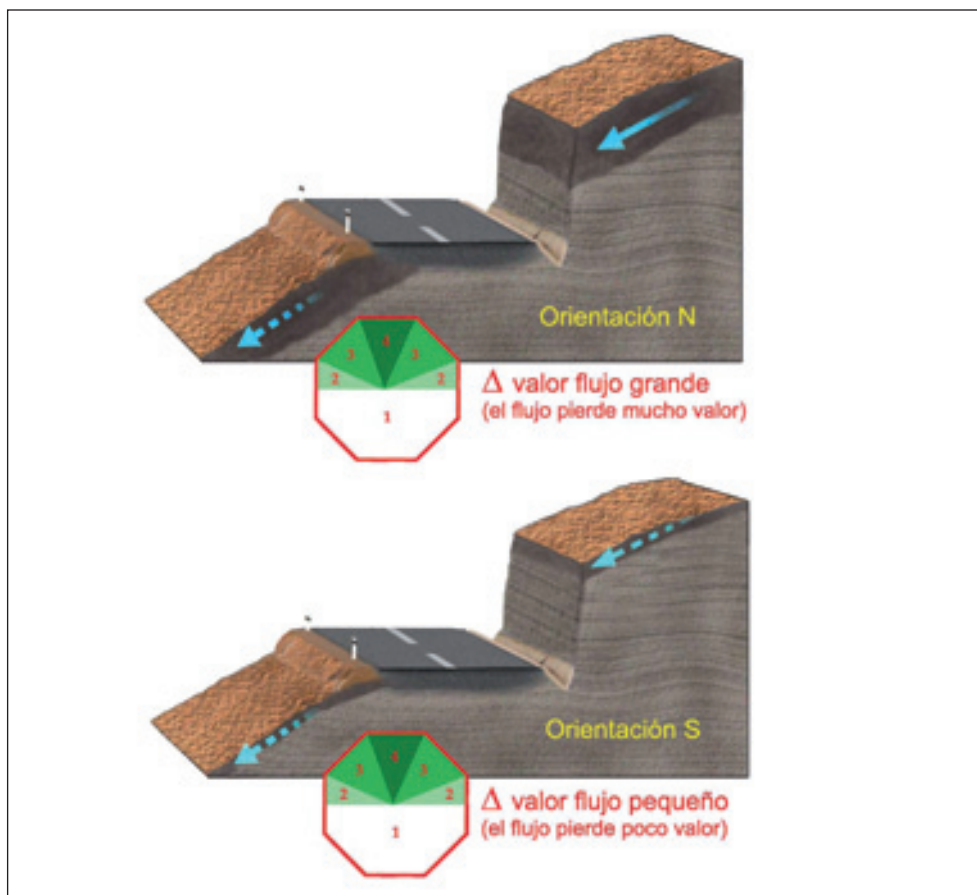


Figura 34. Esquema de la afección del flujo hídrico subsuperficial en el suelo desarrollado sobre un terreno de pendiente dada por el trazado de una carretera. Para estimar la afección (variación relativa en la eficacia original de la retención del flujo) se consideró que ésta es mayor en el caso de un suelo desarrollado en umbría (arriba) que en una solana (abajo).

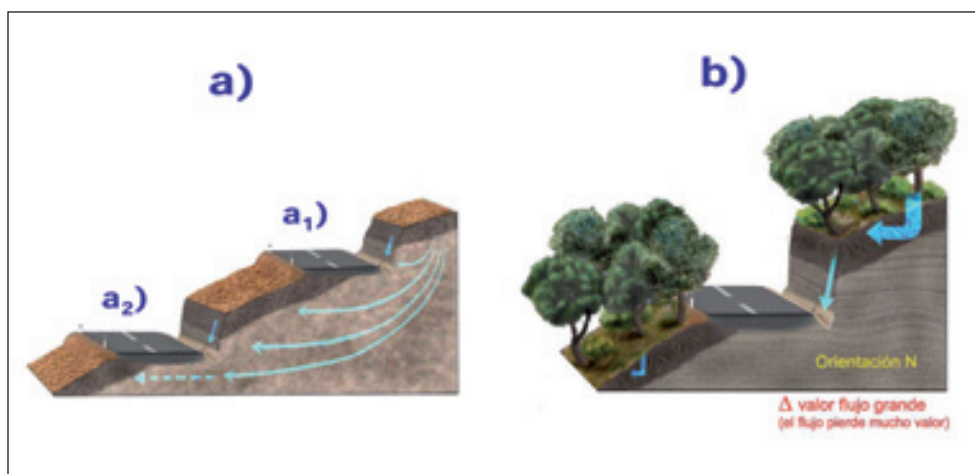


Figura 35. a) Esquema de la afección del flujo hídrico en una descarga local (a_1) de aguas subterráneas y en una descarga regional (a_2) debido al trazado de una carretera. b) Afección a un flujo hídrico subsuperficial importante (facilitado por el desarrollo de una vegetación exuberante, por ejemplo, en una umbría).

los valores de sus componentes de conectividad. Para el cálculo de las regresiones los valores de Δv_{Ci} se han estandarizado como $\Delta v_{Ci}/v_a$, señalándose el valor del impacto de la actividad considerada en cada componente de la conectividad respecto a su valor actual (inicial), es decir, el valor que ha perdido respecto al que tenía.

El impacto ambiental de cada característica de las infraestructuras para cada componente de la conectividad se ha presentado mediante un mapa de impactos y una ecuación de regresión cuyos coeficientes llaman, pues, la atención sobre el daño relativo producido por la infraestructura. Este daño relativo permite dirigir la atención al elaborar unas directrices para las empresas constructoras que minimicen el impacto ambiental de las infraestructuras. Las regresiones calculadas no persiguen tanto disponer de un modelo predictivo como estimar el impacto ambiental conociéndose el daño a cada componente de la conectividad producido por una actividad determinada. De hecho, entre los componentes de la conectividad se encuentra, además de la temperatura y la precipitación, la evapotranspiración potencial, que mantiene correlación con éstas.

En la descripción de las características de las infraestructuras realizada en el apartado 2.3 se indicaron en algún caso pertinente las medidas técnicas habituales tomadas durante las obras y mantenidas, en su caso, durante la vigencia de su uso. Son medidas contenidas en la norma de diseño y ejecución de estas obras cuyo desarrollo pormenorizado no se presenta aquí. También se ha indicado alguna medida aconsejable que, en la práctica, puede llevarse a cabo. El procedimiento seguido en el presente estudio revela incidencias de las infraestructuras que raramente han sido contempladas hasta ahora, de manera que, por un lado, sirve para conocer las interferencias que la red de infraestructuras ya existente estaría causando actualmente en la conectividad ecológica y, por otro, marca el camino de las directrices necesarias para evitarlas o paliarlas en la construcción de otras nuevas.

– *Componentes de la afección.* En la evaluación ambiental de incidencias a la conectividad se ha partido de considerar individualmente cada uno de los componentes (características) de las infraestructuras, integrándose luego sus incidencias mediante el cálculo de regresiones por el procedimiento descrito. En la estimación de impactos parciales se tuvieron en consideración tanto trabajos previos (ver, entre otros, las referencias 31, 76, 85, 171, 236) como, sobre todo, observaciones detalladas realizadas sobre el terreno e ilustradas con un número considerable de fotografías analizadas en trabajo de gabinete. A efectos de estimar afecciones a la conectividad ecológica, se destacaron los aspectos siguientes de la conectividad artificial descrita en los apartados anteriores:

- i) La incidencia previsible en el entorno de una vía de transporte debida a su anchura de calzada y, particularmente, a la *plataforma* asociada se ha estimado en función de la ocupación del terreno, que representa una pérdida de conectividad tanto más seria cuanto mayor sea esta ocupación. Sobre todo, a efectos de incidencia en la conectividad, se consideró que supone un cambio permanente de la circulación subsuperficial, cambio del flujo en direcciones nuevas, pérdida del contacto en fronteras asimétricas y de movilidad de la fauna. La plataforma siempre es una zona peligrosa para la fauna que la cruza volando o no. La afección depende de topografía, litología y tipo de sustrato y suelo, entre otros factores (Fig. 36). Adicionalmente, la plataforma es foco de elevados niveles sonoros durante su construcción y también durante el periodo indefinido de su uso. Igualmente, su superficie, siempre más caliente y seca tras la lluvia, atrae a numerosas especies biológicas que corren serio peligro de atropello. En la plataforma es habitual la producción de escorrentías contaminadas por restos de ferodos, líquidos de frenos, combustibles, etc.; por ejemplo, en tormentas tras varios meses sin lluvia, que contaminan los cursos de agua. Por su parte, la fabricación y puesta en obra de mezclas asfálticas, genera polvo, ruido, vibraciones, así como contaminación del agua, incorporando sólidos en suspensión por lavados y arrastres superficiales, por cambios de temperatura debido a vertidos accidentales y frecuentes vertidos de polímeros de hidrocarburos disueltos o en emulsión, no biodegradables, que suponen una contaminación grave para las aguas. Puede ocurrir contaminación del suelo por vertidos accidentales de hidrocarburos y llegada de productos tóxicos.
- ii) El *cerramiento* (vallado), que previene atropellos e interferencias varias al tráfico como medida de seguridad vial –y debería ser normativa de estricto cumplimiento–, afecta a la conectividad debida principalmente al trasiego de fauna, que se ve afectada en movimientos transversales a la carretera y obligada a seguir itinerarios nuevos a lo largo de los exteriores del vallado. Hay numerosas referencias en parte ya citadas, generalmente bastante prácticas, en relación con la incidencia de los vallados.
- iii) Los movimientos de tierra ligados a las vías de transporte, como *desmontes*, *terraplenes*, *préstamos* y *caballeros*, presentan distintos efectos dependiendo de circunstancias locales. Dependen también de que se ejecuten en un solo lado de la vía o en ambos. Entre otras, las afecciones habituales son por destrucción frecuente de mayor superficie de la necesaria; generación de inestabilidad de laderas; aumento de la erosionabilidad (en sustratos granulares, se dan más fácilmente

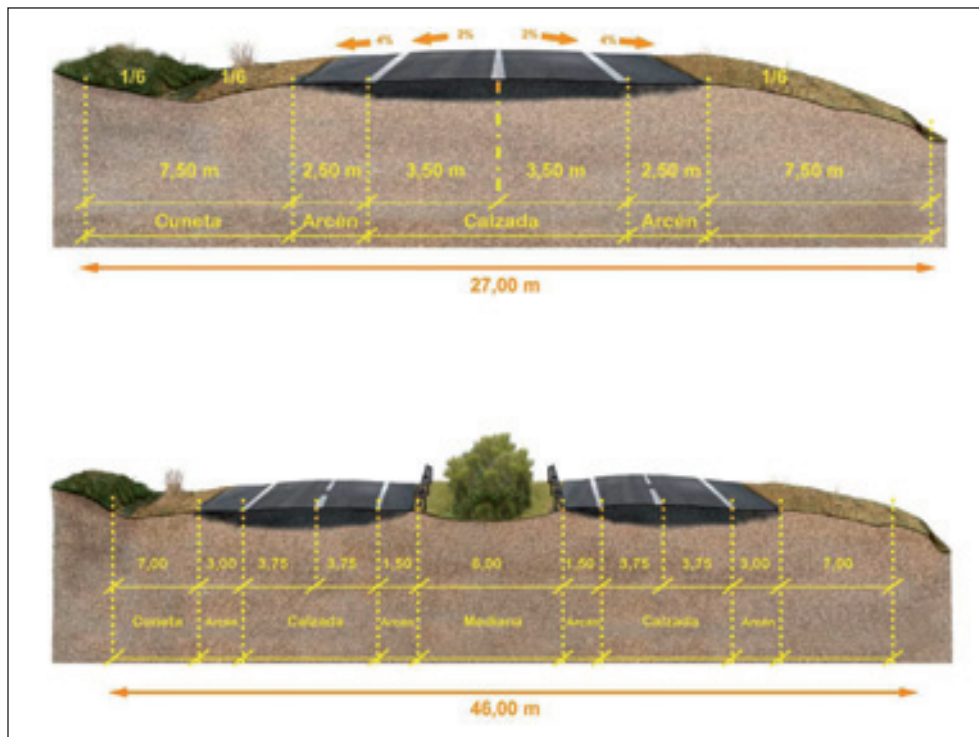


Figura 36. a) Sección de una carretera convencional en terreno llano. La anchura puede ser de unos 27 m en relieves suaves abarcando plataforma y cunetas. b) En las mismas condiciones, una autopista tipo abarca 46 m (ver Tabla 1).

procesos erosivos por efectos de goteo, arroyada y acarreamiento); drenajes de aguas subterráneas que terminan aflorando en los taludes o desmontes generados y que frecuentemente terminan fluyendo en cunetas, afectando el flujo hídrico natural y dirigiéndolo hacia diferentes puntos (Figs. 31,34,35,39); compactación de terrenos fuera de la traza; sobreexcavaciones (terreno inadecuado); producción de polvo; generación de ruido; alteración del paisaje por carencia de toda integración cultural; interferencia con el tráfico externo a la vía; efecto presa y serio efecto barrera para flujos físicos y biológicos; intercepción de acuíferos; intercepción de cauces y generación de material sobrante. Los *terraplenes*, a diferencia de los desmontes, son construidos sobre el terreno natural siguiendo prácticas habituales que les confieren unas exigencias de estabilidad y resistencia conocidas y no debieran presentar problemas de erosión ni de deslizamientos. Interesa considerar que los terraplenes suponen una habitual afección del paisaje, aumentan notablemente la ocupación de terreno en la plataforma, sobre todo en terrenos con pendientes (Figs. 36 a 38), ocupan suelos y valles con tierras fértiles, entierran humedales e interceptan la escorrentía superficial aumentando las aportaciones naturales de agua a pequeños arroyos (los terraplenes de carreteras que discurren a media ladera pueden producir notables interferencias en la circulación de la es-

Estudio de casos

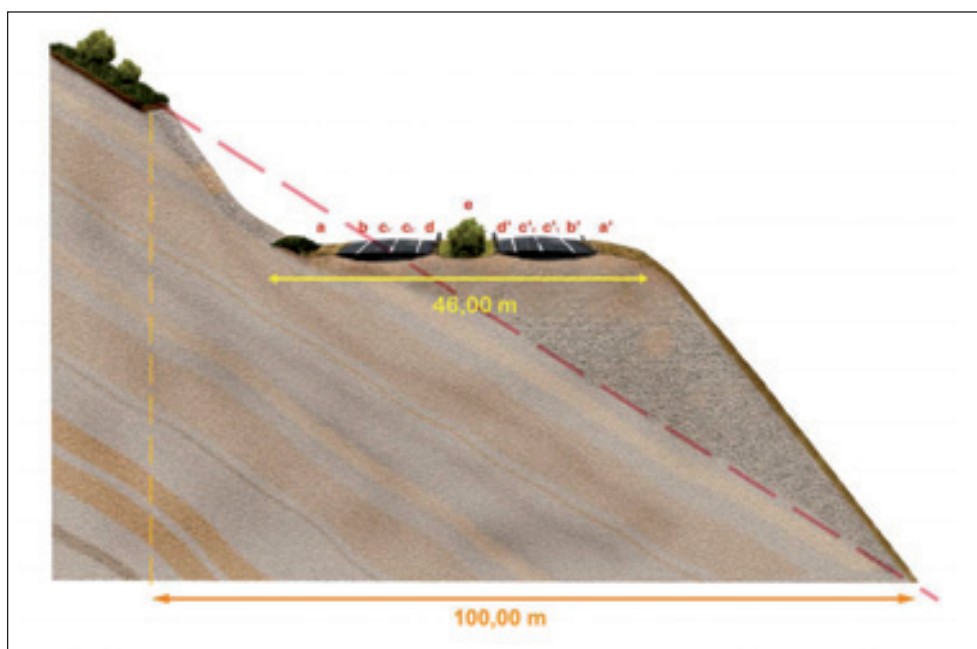


Figura 37. Sección de una autopista tipo a media ladera. En relación con el caso que muestra la Figura 36, la ocupación mínima de la sección necesaria para construir la plataforma afecta ahora a un terreno de mucha mayor superficie. El trazo discontinuo de la figura señala el perfil original de la ladera.

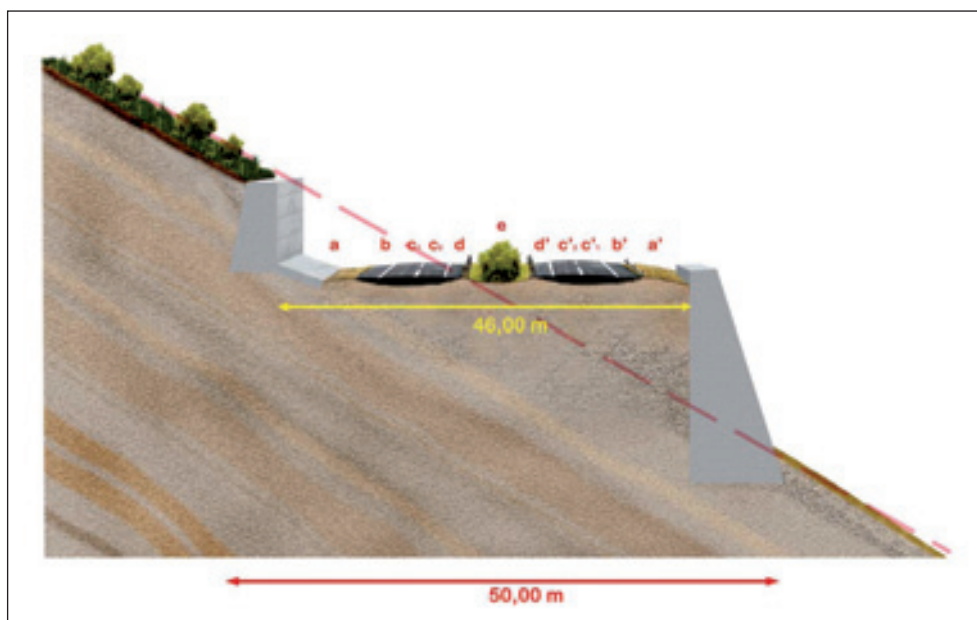


Figura 38. La ocupación de terreno puede reducirse a la mínima necesaria, por razones técnicas, asumiendo mayores costes para limitar las cunetas con muros de fábrica, como muestra la figura, en lugar de excavar taludes inclinados en desmontes y acumulos de tierra como terraplenes (Fig. 37). Las exigencias ambientales, de cada lugar concreto, deben justificar soluciones intermedias mixtas.

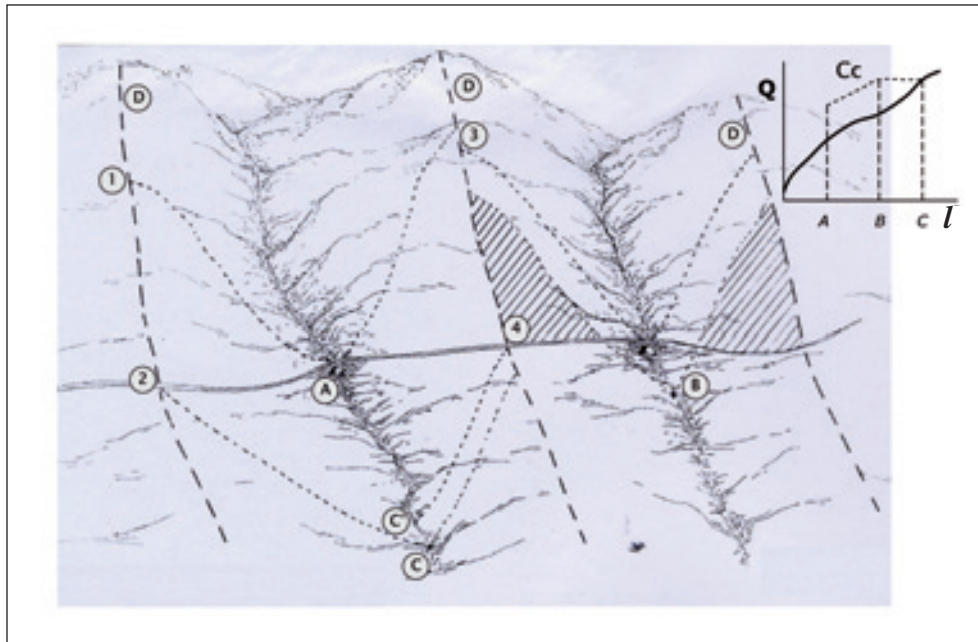


Figura 39. Los desmontes y terraplenes de las carreteras que discurren a media ladera pueden producir serias interferencias en la escorrentía superficial y afectar a cauces y laderas aguas abajo. En la figura, una carretera atraviesa transversalmente dos cuencas parecidas. Antes de la construcción de ésta, el punto A del cauce recibía el drenaje correspondiente a la la cuenca delimitada por la línea 1-A-3 y las divisorias de agua, D. La construcción de la carretera hace aumentar los caudales máximos en el tramo de cauce A-C, dado que el efecto barrera de la carretera añade en A la escorrentía de las superficies triangulares 1-2-A y 3-4-A. En A se alcanza ahora un caudal mayor. El punto C' señala donde se equilibrarían las superficies de drenaje A-3-4 y A-4-C' a la izquierda del cauce (derecha en la figura). Aquí llegaría igual cantidad de agua de esa ladera con o sin carretera. La cuenca es algo asimétrica, así que sigue recibiendo más agua de la derecha del cauce, hasta que en C se equilibran también las áreas 1-2-A y 2-A-C. En C el caudal es ya igual con carretera a lo que era antes de construirse ésta. Entre los puntos A y C el cauce mostrará mayores efectos erosivos y aumentará el arrastre de materiales hasta alcanzar un nuevo perfil de equilibrio. A la derecha de la figura, la cuenca vecina sirve para indicar la posibilidad de otras situaciones intermedias en diferentes puntos de un cauce. Así, en B el exceso de caudal es el correspondiente a las superficies rayadas. En la gráfica sobrepuesta, donde Q representa el caudal y l la longitud del cauce, el trazo discontinuo Cc señala cómo evolucionan los caudales a lo largo del cauce -A, B (o C') y C- tras la construcción de la carretera.

correntía superficial concentrando caudales aguas abajo los puentes; Fig. 39). Cuando se reducen con muros de fábrica imposibilitan el cruce de la vía, aumentando los efectos barrera y frontera de las carreteras.

La necesidad de utilizar *préstamos*, está ligada a la calidad de las tierras a lo largo de la traza de la carretera, por tanto es un dato que puede conocerse previamente y, por tanto, permite programar la ubicación de los préstamos en el proyecto constructivo. Hay sistemas técnicos que permiten mejorar la calidad de las tierras que han de utilizarse en cada fase de la carretera, mediante la adición de cales, cemento, etc. Estos sistemas pueden reducir notablemente la necesidad de tierras de mejor calidad y la utilización de caballeros de grandes dimensiones. En todo caso los préstamos suponen efectos en la topografía del terreno, creando depresiones y

alterando flujos hídricos subterráneos y superficiales. El principal problema reside en la habitual escasa definición de su emplazamiento y características en el proyecto constructivo, lo que dificulta un tratamiento ambiental correcto y programado en tiempo y forma. Los *caballeros*, por su parte, presentan características y problemas similares. La diferencia está en que la alteración de flujos propios de una depresión y de una elevación artificial son dependientes en sus efectos de las características locales. También en el caso de los caballeros, puede destacarse la escasa definición de su emplazamiento y características en el proyecto constructivo, lo que también dificulta un tratamiento ambiental correcto y programado en tiempo y forma. Préstamos y caballeros representan una oportunidad para restaurar posibles conexiones ecológicas o crear «microbiotopos».

- iv) En cuanto a las *obras de fábrica*, su presencia en las vías de transporte genera siempre puntos singulares que, a efectos de conectividad, destacan por concentrar habitualmente flujos hídricos (pasos de agua), constituir barreras físicas para procesos superficiales (muros y embocaduras) o «rematar» estructuras de materiales sueltos. Puede decirse que cuando una carretera cruza con cualquier flujo físico natural o artificial (otro tipo de infraestructura de transporte) la intersección se resuelve mediante la construcción de este tipo de obras. Estas vienen a ser indicadores singulares y visibles de los puntos de conflicto entre la malla ecológica y las infraestructuras artificiales. Suelen ser, por otra parte, focos de atracción de fauna, principalmente aves y mamíferos voladores, que buscan refugio y lugares de cría en huecos y plataformas inaccesibles propios de viaductos, puentes y pontones (con precauciones relativas a interferencias con el tráfico rodado, previendo costes realmente poco notables, pueden acondicionarse estas estructuras como refugios de diferentes tipos de organismos).
- v) Los *enlaces* son puntos de conflicto entre dos infraestructuras artificiales, generalmente de transportes. Pueden afectar a la conectividad ecológica de manera seria por ocupar dimensiones enormes si las vías que se cruzan son autovías, en terrenos de topografía difícil y con vías de servicio. La maraña de carreteras a distintos niveles, la existencia de zonas intermedias con ambientes «relictos», con comunidades biológicas ruderales, microbiotopos, ajardinamientos⁷ y fuertes condicionantes técnicos que condicionan sus parámetros en planta y alzado, hacen de los enlaces verdaderos puntos negros desde el punto de vista ambiental (importante ocupación de terreno, notable interferencia con flujos hídricos superficiales y subterráneos, gran impacto paisajístico, elevado efecto frontera para la fauna e importante fuente de contaminación acústica).
- vi) De las *estaciones de servicio* se destacó ya que muchas de ellas ocupan gran superficie de terreno totalmente impermeabilizada (grandes aparcamientos, viales de acceso e interiores, servicios de combustibles, cafetería, hotel, restaurante, etc.), afectan a la circulación de aguas superficiales y subterráneas, contaminán-

⁷ Ocurre que la vegetación implantada en las zonas no ocupadas por la plataforma ofrece alimento y «seguridad», frente a depredadores, para algunos animales fitófagos, por lo que estas zonas pueden ser focos atractivo para determinadas especies (es frecuente ver autovías donde pueden aparecer numerosos conejos en la mediana).

dolas a ellas y a los suelos con hidrocarburos, lixiviados tóxicos y otros líquidos y su contaminación lumínica es muy notable.

- vii) Por su parte, en cuanto a la *velocidad máxima* de una vía, la velocidad real a la que circulen los vehículos es un condicionante clave de sus consecuencias ambientales. Se ha tenido en cuenta que cuando la velocidad crece se acentúan también sus efectos nocivos, pues aumenta el nivel sonoro debido al tráfico, el efecto barrera traducido en atropellos de fauna y probabilidad de accidentes en vehículos con sustancias peligrosas, cuyos vertidos pueden contaminar las aguas o los suelos. En determinadas vías podría plantearse reducir la velocidad en ciertos tramos para paliar atropellos, al menos en algunos periodos del año.

Respecto a los *radios en planta*, la citada Norma 3.1-IC⁽¹⁹⁴⁾ indica que varían desde 50 m a 670 m para carreteras de baja velocidad y que oscilan entre 250 m y 1725 m para las más rápidas. En autopistas se disponen radios de 3.500 a 7.500 m para hacerlas más cómodas y seguras. Velocidad específica, radio y peralte –características de gran importancia para la selección de las alternativas de trazado y para evaluar la importancia de los movimientos de tierra– se encuentran relacionados tanto para autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100 (vías del Grupo 1) como para carreteras C-80, C-60 y C-40 (Grupo 2), de manera que para la estimación del impacto parcial en la conectividad hubieron de consultarse las tablas de esta Norma y establecer una escala de intensidad de perturbación potencial de los componentes analizados en la conectividad ecológica. Las curvas de los *acuerdos verticales* son más abiertas en autopistas y autovías y condicionan la visibilidad de la longitud de carretera vista por el conductor en los cambios de rasante. En todo caso, el diseño de los cambios de rasante, depende del tipo de carretera. En consecuencia, el aumento de estos valores, producen directamente, entre otros, efectos frontera para la fauna, una más alta probabilidad de accidentes por atropello de fauna y mayores movimientos de tierra e impactos paisajísticos.

- viii) En relación con las *cunetas*, cuya función última es conducir las aguas hasta los cauces naturales sin producir inundaciones en la carretera ni problemas erosivos, se tuvieron en cuenta problemas relacionados con el hecho de que deben evacuar fuertes caudales punta, en tormentas, con consecuentes erosiones y arrastres de materiales, la circunstancia de que sus aguas recorren obras de fábrica, tanto superficiales como subterráneas, con diseños hidráulicos que pueden constituir verdaderas trampas para animales, producen desequilibrios en los procesos de erosión-sedimentación en los cauces donde evacúan sus aguas.
- ix) Las *vías de servicio* en realidad suponen una ampliación de la carretera principal, para cuya incidencia se ha tenido en cuenta que suponen un aumento de la ocupación de suelo, del efecto frontera y de la interferencia en los flujos hídricos.
- x) Finalmente, respecto al efecto de la *intensidad de tráfico*, su aumento supone ruido, contaminación en las bandas laterales de la carretera, aumento de la probabilidad de atropello y del efecto barrera para la fauna y, por otra parte, atracción para carroñeros de animales atropellados o de depredadores de insectos atraídos por luces de faros.

El Apéndice 6 contiene el esquema de referencia usado en el trabajo de gabinete para estimar los impactos parciales (Δv_{CI}) de los componentes de las infraestructuras sobre los de la conectividad ecológica. Se hace una indicación cualitativa del impacto, atribuible a algunos descriptores de las infraestructuras en relación con flujos y otras características ambientales (por ejemplo, el paisaje, sin considerar en este caso su dinámica). Se trata de una estimación *a priori*, cuando aún no es posible tener una estimación muy precisa de las características concretas de la traza de la carretera ni de las dimensiones de sus movimientos de tierra, características de sus obras de fábrica, etc., ni, por consiguiente, de sus efectos en la conectividad. No obstante, la estimación se basó en el desarrollo de numerosos recorridos de campo, visitas y observaciones de situaciones concretas que fueron analizadas *in situ*, fotografiadas y usadas como referencia de impactos potenciales.

Por otra parte, estas observaciones permiten afirmar ahora que la mayor parte de los impactos ambientales producidos por este tipo de infraestructuras (y en particular su afección a la conectividad ecológica territorial), pueden evitarse en el proceso de selección de alternativas, en la redacción del proyecto constructivo y en el mismo proceso constructivo. Conocer los factores de la conectividad ecológica en el marco de la planificación territorial, desde el instante de la concepción de los proyectos, estudio y desarrollo soluciones técnicas, variantes posibles de trazado y, concretamente, ponerlos al servicio de los técnicos es el objetivo aplicado del presente libro. Si la planificación territorial se hace con perspectiva actual y la selección de las soluciones se hace correctamente, el anteproyecto de infraestructura habrá ya reducido, desde su origen, un alto porcentaje de los impactos ambientales que desafortunadamente son tan habituales.

3.3. Conectividad horizontal debida a flujos físicos potenciales

- a) *Mapa ecológico de base: sectores ecológicos.* La caracterización ecológica estructural del territorio se ha realizado siguiendo un procedimiento jerárquico por pasos, en el que se han considerado de forma sucesiva diferentes conjuntos de variables que actúan a distintas escalas espaciales (ver apartado 1.7a). En los diferentes niveles jerárquicos se han utilizado procedimientos multivariantes de ordenación y clasificación sucesivos. De esta manera, los ejes principales de cada análisis de ordenación se han utilizado como variables factoriales sobre las que se han aplicado los algoritmos de los análisis de clasificación.

En las Figuras 40 a 42 se representa el resultado de los análisis correspondientes a las principales características climáticas del territorio considerado. El clima constituye el primer nivel jerárquico en que se ha sintetizado la variabilidad espacial, obteniéndose cinco grandes sectores climáticos, que son (relativamente) cálido y húmedo, templado y húmedo, frío y húmedo, frío y seco y cálido y seco, según quedan caracterizados por determinadas variables significativas.

En el territorio existe claramente un gradiente territorial de humedad-aridez en dirección NW-SE (Fig. 40). La variación de la temperatura asociada a este gradiente refleja características locales relacionadas con cambios altitudinales, presencia de barreras geomorfológicas o influencia marina. El segundo nivel jerárquico de la cartografía (conjunto de variables geóticas) muestra la variación espacial dentro de cada sector

climático derivada de la integración multifactorial de las variables analizadas (Fig. 41a). El siguiente nivel de integración responde a la sectorización condicionada por variables topográficas (altitud, pendiente y orientación) y a su caracterización a través de variables de vegetación y usos del suelo. El resultado final es el mapa ecológico (Fig. 42a), con diferentes sectores internamente homogéneos respecto a un conjunto de características ecológicas e integrados a distintas escalas. Este mapa sirvió de base para describir la conectividad vertical y enmarcar la conectividad horizontal.

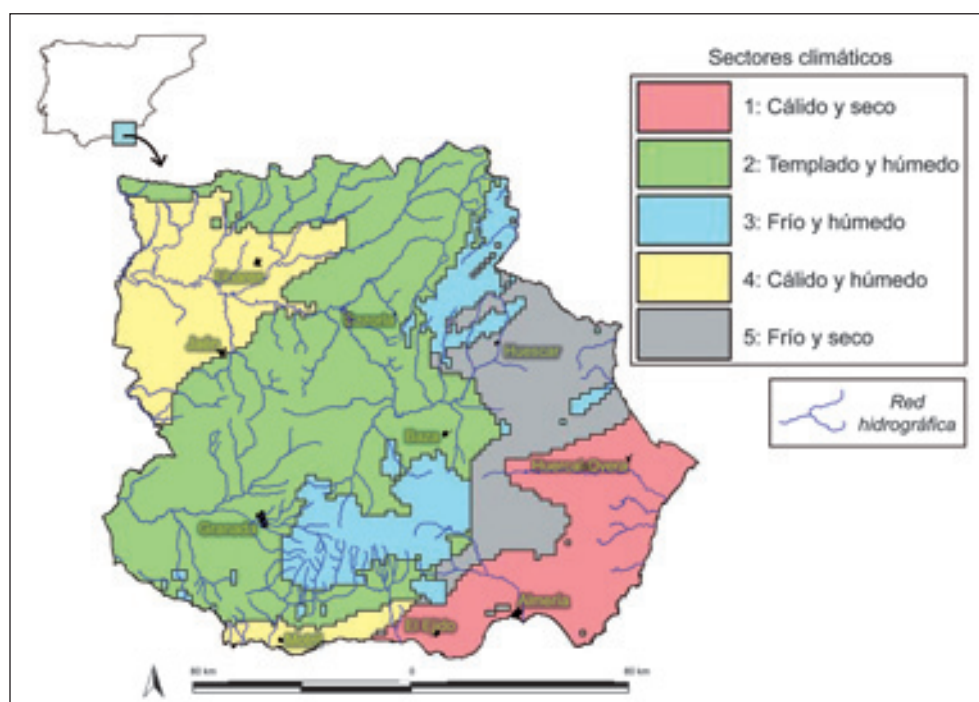


Figura 40. Mapas de sectores ecológicos jerárquicos. Primer nivel (clima). Las variables que discriminan a cada sector, obtenidas mediante estadísticos de comparación de medias, están descritas en el Apéndice 7.

- *b) Expresión cartográfica de la conectividad física.* La Figura 43 sintetiza la conectividad territorial calculada teniendo en cuenta los flujos físicos potenciales del territorio. La figura recoge las conexiones identificadas entre 9.015 puntos regularmente repartidos en el área de ensayo. La interconexión resultante de ellos queda recogida en 8.600 puntos, de acuerdo con el procedimiento descrito.

Los flujos estimados son los resultantes de la integración de las variables especificadas en los apartados anteriores. La dirección y longitud de los flujos locales resultantes vienen determinados, respectivamente, por los de las flechas que muestra el mapa y dependen de la altitud y orientación predominantes en cada lugar. La lentitud del flujo (permanencia del agua en los gradientes disipativos de energía gravitacional) la recoge el color de las flechas, clasificado en una escala de 1 a 12. Las conexiones repre-

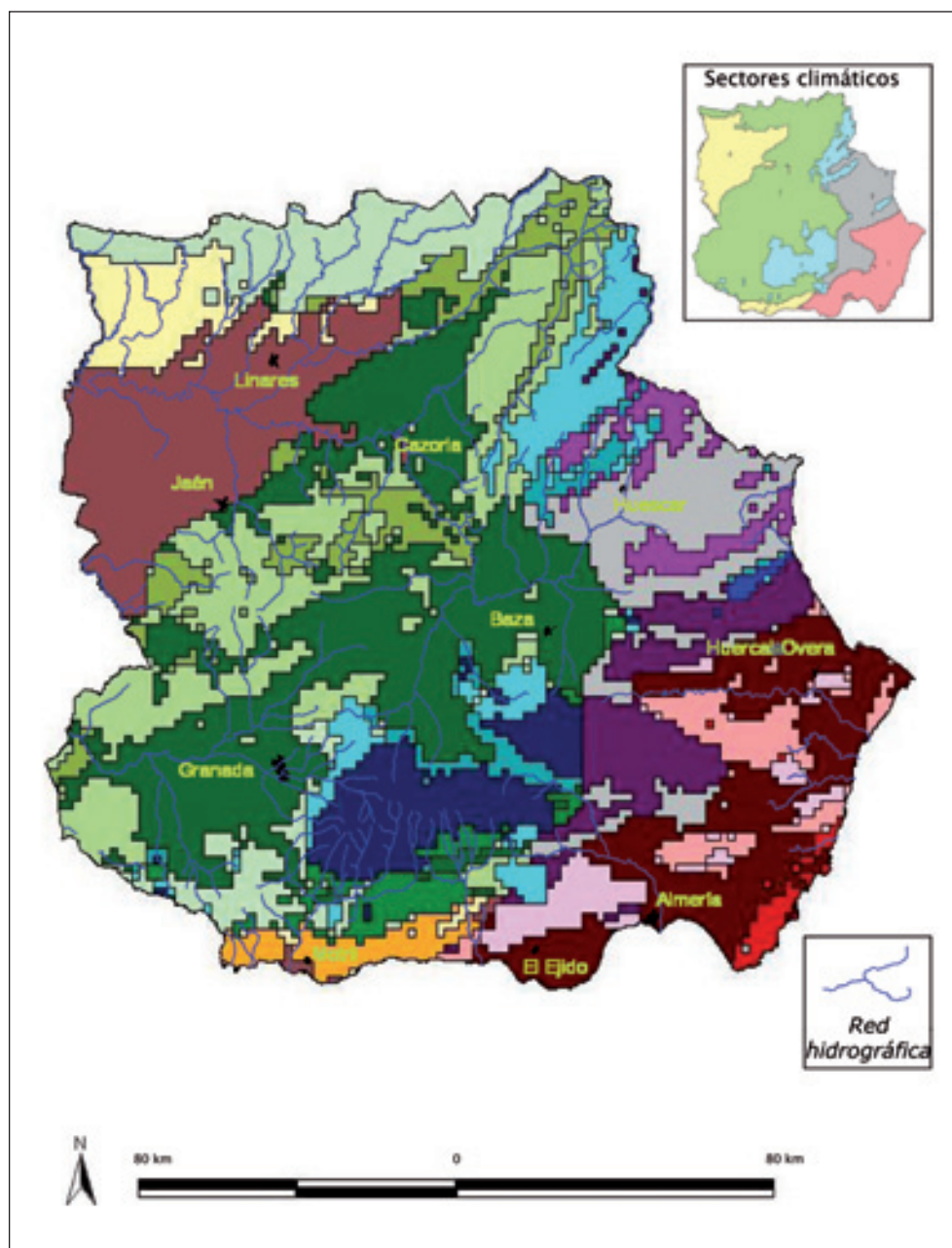


Figura 41a. Mapas de sectores ecológicos jerárquicos. Segundo nivel (componentes geóticos: litología, geomorfología y edafología). Las variables que discriminan a cada sector fueron obtenidas mediante estadísticos de comparación de medias.

Sectores climáticos	Sectores geóticos
1	<p>11: Zonas llanas o alomadas de acumulación de sedimentos. Suelos poco evolucionados en condiciones de aridez.</p> <p>12: Zonas volcánicas con suelos muy poco evolucionados.</p> <p>13: Zonas montañosas de rocas metamórficas. Litosuelos o suelos incipientes.</p> <p>14: Zonas montañosas áridas con suelos muy poco desarrollados.</p>
2	<p>21: Zonas llanas o alomadas de acumulación de sedimentos con presencia de suelos desarrollados.</p> <p>22: Zonas montañosas de rocas metamórficas con suelos jóvenes y húmedos en desarrollo.</p> <p>23: Zonas alomadas de arcillas y arenas rojas con suelos jóvenes y húmedos y presencia de suelos desarrollados.</p> <p>24: Zonas montañosas mayoritariamente de rocas sedimentarias. Suelos jóvenes y húmedos y evidencias de suelos muy desarrollados.</p> <p>25: Zonas montañosas o alomadas de rocas metamórficas o plutónicas con suelos jóvenes en desarrollo.</p>
3	<p>31: Zonas montañosas de rocas metamórficas. Suelos jóvenes.</p> <p>32: Colinas aterrazadas de rocas metamórficas. Suelos muy poco desarrollados.</p> <p>33: Zonas llanas o alomadas de acumulación de sedimentos. Suelos jóvenes y húmedos en desarrollo.</p> <p>34: Zonas montañosas de suelos esqueléticos. Zonas urbanas o láminas de agua.</p>
4	<p>41: Zonas mayoritariamente llanas de rocas sedimentarias. Suelos arcillosos desarrollados y suelos jóvenes y húmedos.</p> <p>42: Zonas montañosas de rocas metamórficas o sedimentarias. Suelos jóvenes y húmedos en desarrollo.</p> <p>43: Zonas montañosas de rocas metamórficas o plutónicas. Litosuelos y suelos jóvenes.</p>
5	<p>51: Zonas montañosas de rocas principalmente metamórficas. Litosuelos y suelos jóvenes.</p> <p>52: Zonas montañosas de rocas sedimentarias con suelos muy poco desarrollados.</p> <p>53: Zonas mayoritariamente llanas, de roca sedimentaria con suelos jóvenes en desarrollo.</p>

Figura 41b

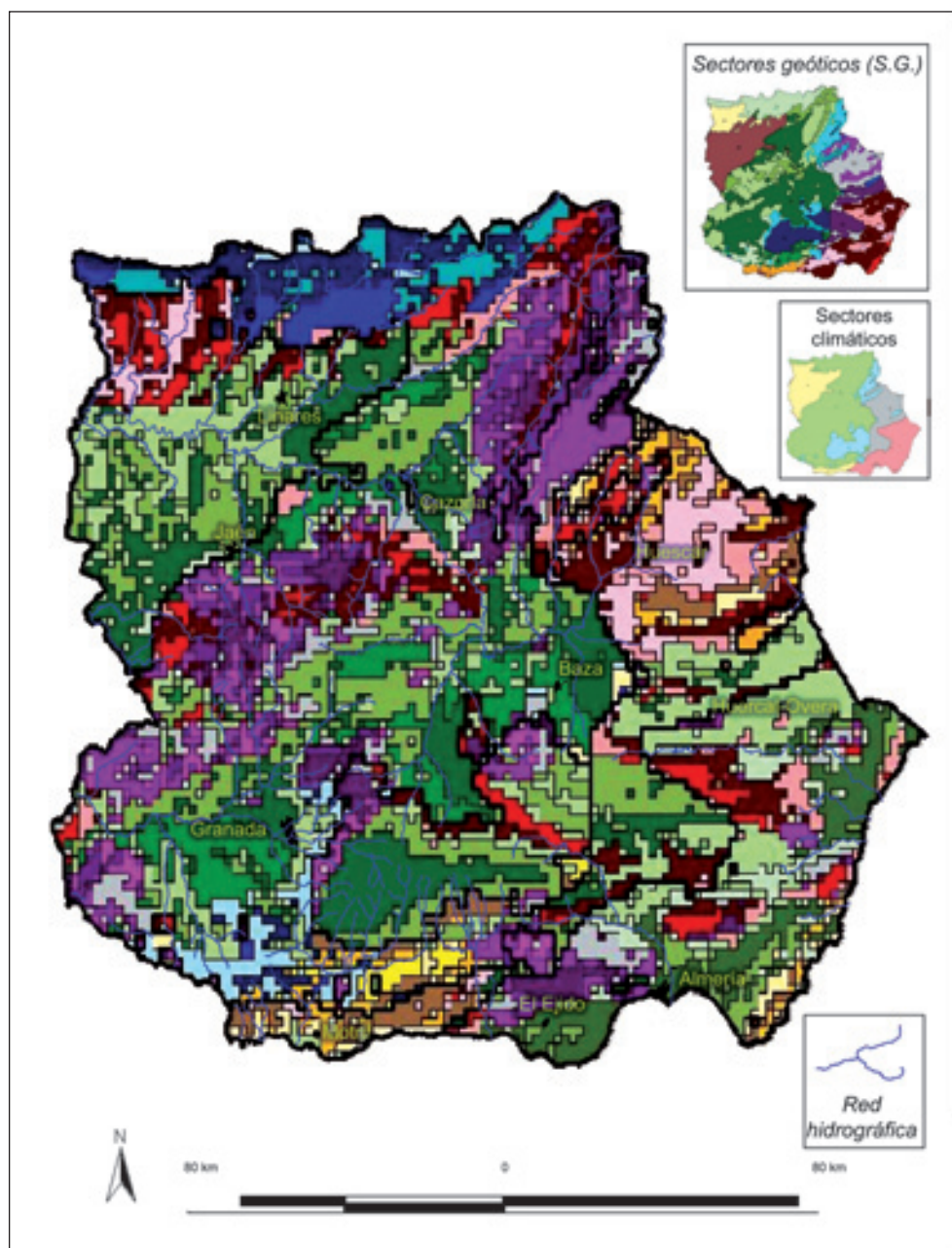


Figura 42a. Mapas de sectores ecológicos jerárquicos. Tercer nivel (componentes topográficos, vegetación y usos agrarios). Las variables que discriminan a cada sector fueron obtenidas mediante estadísticos de comparación de medias.



Figura 42b

Estudio de casos



Figura 42c

sentadas terminarían hipotéticamente en la red hidrográfica que drena el territorio, así como en las laderas meridionales orientadas directamente al mar. No obstante, por una parte, los fenómenos de evaporación y convección condicionados por el clima y sus componentes locales (pendiente, orientación) pueden cerrar el ciclo hidrológico localmente, generando ciclos menores dentro del ciclo regional. Por otra parte, el sustrato puede condicionar también el cierre de ciclos locales dentro del ciclo regional o generar cuencas subterráneas independientes de las cuencas hidrográficas superficiales y de sus divisorias de aguas superficiales (infiltración, percolación y recargas subterráneas).

En el área estudiada se observan tres grandes zonas en relación con su capacidad de retención de los flujos hídricos locales: *i*) una zona central y suroccidental, donde la resultante de los componentes de la conectividad debida a los flujos físicos alcanza valores de retención altos o muy altos; *ii*) un sector de extensión relativamente reducida al NW (Jaén) con una capacidad de retención media y *iii*) la franja E-SE (Almería) con valores mayoritariamente bajos y muy bajos. A esta escala se aprecia una correspondencia notable entre la tipología climática (Fig. 40) y la conectividad calculada (Fig. 43a), de manera que los ambientes templados y húmedos o fríos y húmedos tienden a ofrecer mayores capacidades de retención que los fríos y secos o cálidos y secos. No hay, en cambio, una correspondencia clara entre la capacidad de retención de flujos y la presencia de un ENP. La declaración de un espacio protegido tiende a considerar otros valores de referencia⁽²⁰¹⁾.

- *c) Conectividad entre nodos cercanos.* En la práctica, con los resultados de la Figura 43a es difícil identificar y fotografiar sobre el terreno la imagen del proceso que integra los parámetros contemplados; es decir, la identificación *in situ* de las referencias de la malla de conectividad horizontal física. Aunque el punto de origen de una flecha dada puede identificarse sobre el terreno con ayuda de un *GPS*, la resultante recogida en el mapa de flujos (capacidad de retención hídrica, desnivel topográfico y dirección resultante, indicados respectivamente por el color, el tamaño y la dirección de las flechas del mapa) no ofrece una imagen capaz de informar con cierta precisión a un observador sobre la conectividad física resultante. A manera de ensayo, el procedimiento descrito (apartado 3.1.3) se ha aplicado, pues, con mayor detalle, a una franja territorial piloto, elegida expresamente por contener variaciones climáticas y paisajísticas destacadas así como diferentes grados de conservación (Fig. 43b, c). La franja ofrece una especie de «zoom territorial» que permitiría identificar la resultante de la conectividad en celdas de menor tamaño. El *zoom* abarca una serie de términos municipales y ENP comprendidos en el territorio amplio estudiado antes (Fig. 43a). En principio, los ENP, por la protección de que son objeto, ofrecerían situaciones bien conservadas de suelo y vegetación sobre los que visualizar a esta escala las retenciones de flujos para contrastarlas con zonas no protegidas, en principio menos conservadas (Apéndice 8).

En la Figura 43c, la dirección y longitud de los flujos locales resultantes vienen determinados, respectivamente, por los de las flechas del mapa. La resultante de la capacidad de retención hídrica en las celdas del grid constituye la magnitud de los vectores de conexión (el color de las flechas). Se observan claramente valores elevados de capacidad de retención de los flujos físicos locales (tonalidades de verde) y valores de retención escasa (tonalidades de rojo y naranja). En toda la franja predominan los valores altos o muy altos. La distribución territorial y extensión superficial de los

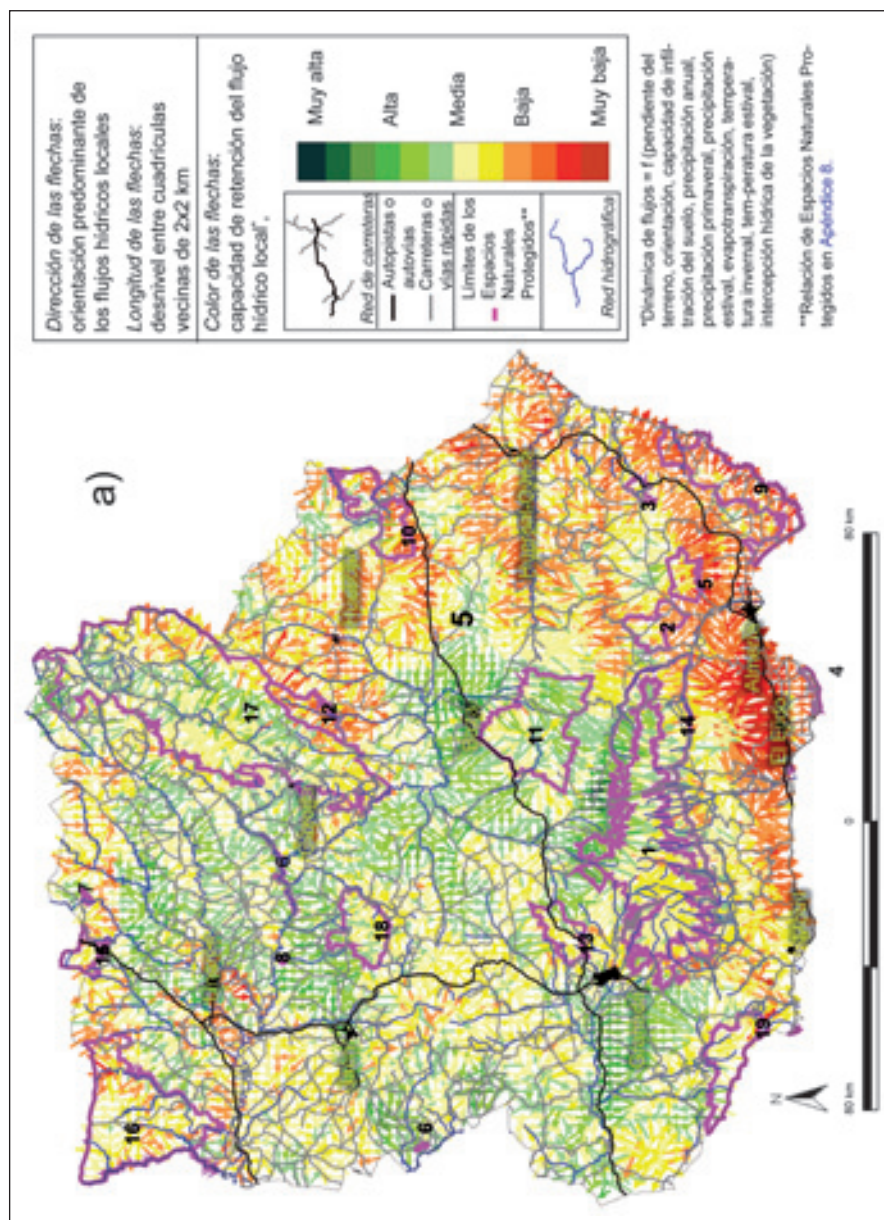


Figura 43 a). Mapa de flujos horizontales debidos a los componentes físicos de la conectividad. El mapa c (página siguiente) es una franja piloto seleccionada abarcando expresamente variaciones climáticas y paisajísticas notables (Fig. 40) así como varios espacios naturales protegidos y áreas adyacentes. La conectividad física está calculada en esta franja sobre celdas de $100 \times 100\text{m}$.

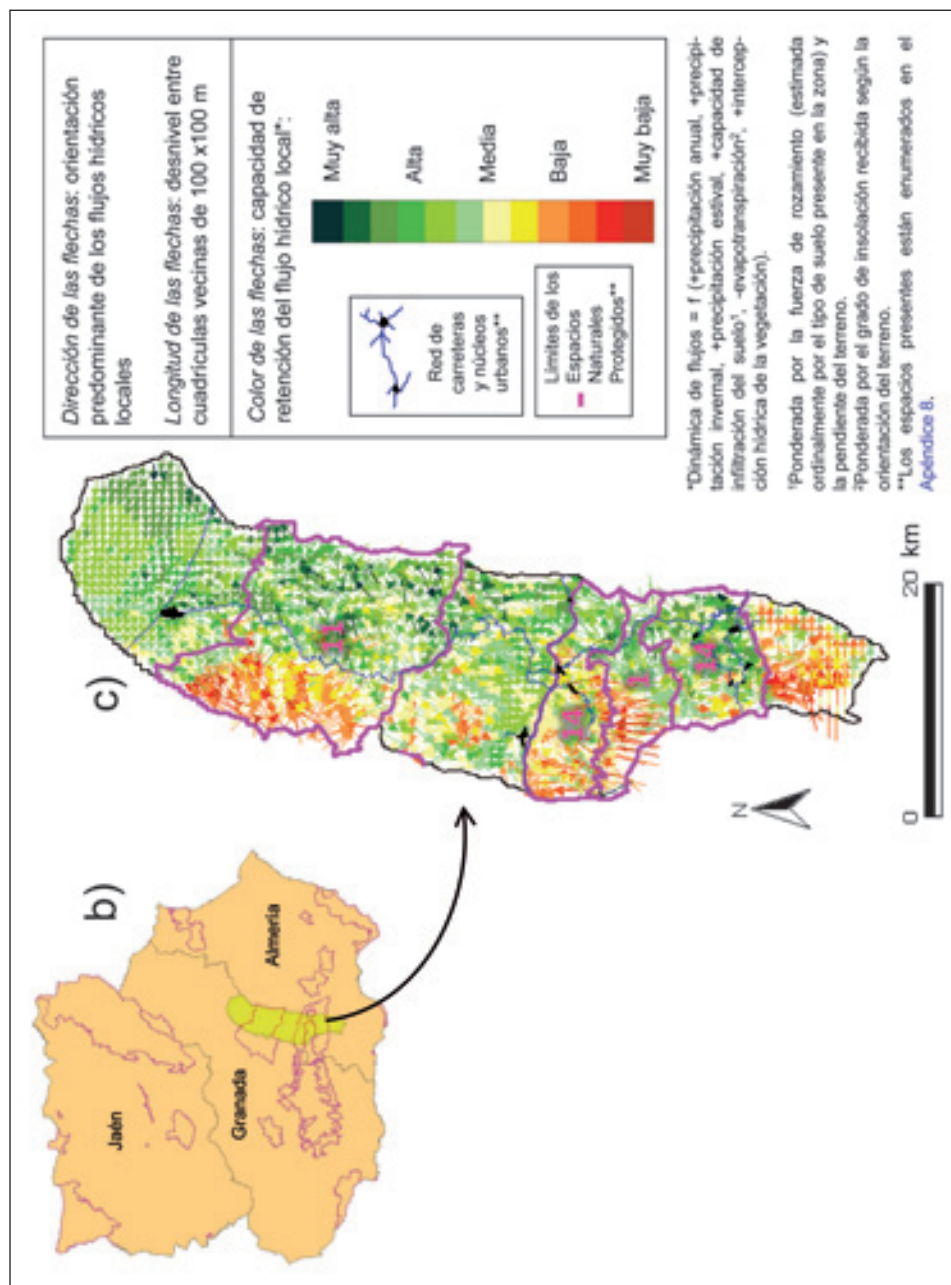


Figura 43 b, c.

ENP declarados en su día tampoco guarda, a la escala más detallada contemplada ahora, una relación clara con la capacidad de retención hídrica de los suelos, siendo patente tanto la presencia de áreas con escasa retención como áreas con retención alta en el interior de los límites de estos espacios. Tampoco es muy patente ahora la relación con el clima (Fig. 40), pues tanto ambientes templados y húmedos o fríos y húmedos como fríos y secos mantienen suelos conservados, capaces de retener flujos, como suelos que son incapaces de ello. El resultado podría indicar, a este detalle, que los usos y la gestión del suelo representa un elemento clave en la conectividad ecológica detectada.

La formalización y cartografía de estos flujos, puede ser utilizada por tanto por técnicos y gestores de manera sencilla para tomar decisiones y diseñar alternativas para mantener la conectividad. Los espacios de conectividad basada en la ralentización de flujos constituirían sistemas de más alta funcionalidad biológica y mérito de conservación frente a diferentes perturbaciones, como las debidas a determinados tipos de infraestructuras viarias. Los paisajes que capturan, retienen y reciclan agua y nutrientes, reducen la escorrentía y la erosión. El procedimiento aplicado permite describir cuantitativamente los flujos físicos, apreciándose que una escala adecuada para estudiar determinado proceso global es inadecuada a escala local, de manera que es recomendable usar distintas escalas simultáneamente.

3.4. Conectividad horizontal debida a flujos biológicos potenciales: fronteras ecológicas asimétricas y movilidad de la fauna

Un tipo de interacción importante generada a través de las fronteras entre zonas del territorio sucede por contrastes energéticos. Esto se ha considerado como una frontera asimétrica en la que dos sistemas en contacto difieren fundamentalmente en su grado de madurez. El sistema más maduro presenta un mayor acumulo de biomasa y más baja tasa de renovación y puede resultar energéticamente beneficiado en la interacción a través de sus fronteras cuando la fauna transita de una zona a otra. La complejidad de este tránsito depende de la organización del espacio y de los valores de producción vegetal de las diferentes zonas de que conste (Figs. 24 a 27 y 33).

Para caracterizar los flujos potenciales de energía entre las cuadrículas del territorio se ha estimado la clase energética (tasa de renovación, $r = P/B$) a la que pertenecería cada una de ellas, de acuerdo con la formación vegetal y uso del suelo predominantes. Así se ha establecido una jerarquía de tensiones en fronteras entre las diferentes combinaciones de teselas de que consta el territorio contemplado. De acuerdo con estos criterios, se han considerado diez clases energéticas, con valores de tasa de renovación comprendidos entre 0 y 10, y nueve tipos potenciales de tensiones entre unidades espaciales (Δr). El valor más alto de la tensión viene dado por el mayor contraste entre fronteras, mientras que cuando aparecen contiguas teselas con acúmulos de biomasa similares (poca asimetría) se dan los valores más bajos de tensión.

El cálculo del gradiente de variación de los flujos horizontales entre fronteras asimétricas se ha realizado a partir de derivadas direccionales. En la Figura 44 se representan estas conexiones espaciales mediante flechas cuya dirección viene determinada por el mayor contraste

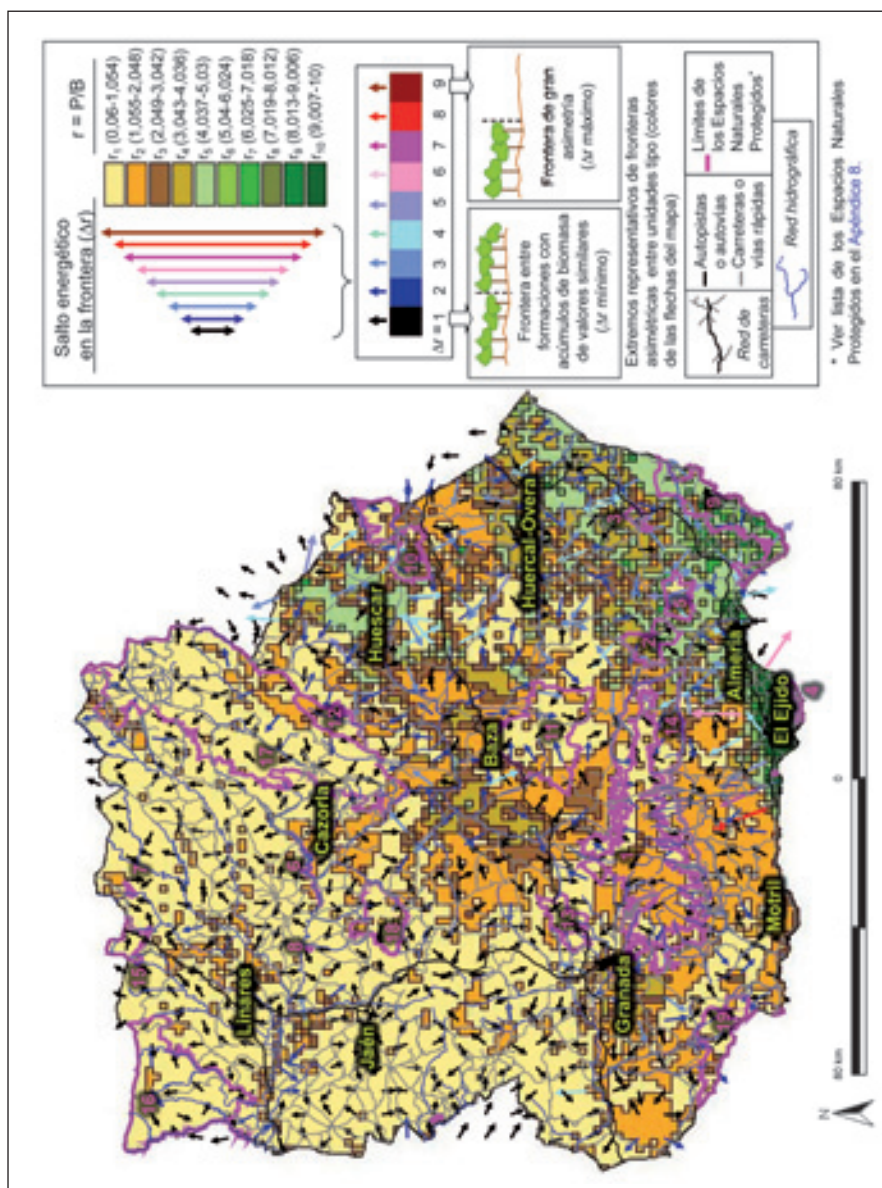


Figura 44. Resultado obtenido en el cálculo de tensiones energéticas potenciales que convergen en fronteras entre teselas diferenciadas por su tasa de renovación, de acuerdo con datos registrados en un conjunto numeroso de cuadrículas de una malla (ver Figs. 19, 26 y 27). Mapa resultante de los flujos horizontales potenciales debidos a conexiones energéticas en fronteras ecológicas asimétricas (Δr).

de valor entre unidades próximas y su longitud y color por la magnitud de los flujos energéticos potenciales que convergen en la frontera entre ellas.

El procedimiento desarrollado permite identificar la intensidad de estos flujos en el territorio. Un flujo energético alto indica una mayor posibilidad de transferencias y, por tanto, la contribución a la conectividad potencial. Este proceso suele estar vinculado a situaciones heterogéneas en cuanto a la configuración espacial de las unidades de vegetación y de usos rurales, que originan diferentes tipos de fronteras (Fig. 33).

En el área estudiada se observa una diferenciación espacial clara de la acumulación de biomasa por la vegetación. Se puede describir un cierto gradiente de variación de la tasa de renovación en sentido NW-SE. Las tasas menores (rangos comprendidos entre 0,06 y 1,054) se distribuyen aparentemente en espacios homogéneos del N y NW del territorio y están relacionadas, por tanto, con conexiones energéticas de intensidad baja (Δr predominante = 1). Por el contrario, en el área S-SE destaca la heterogeneidad espacial de las unidades territoriales, con una gran variación de contactos entre sistemas de diferentes tasas de renovación. En este sector los flujos energéticos potenciales predominantes pertenecen a clases de tensión energética medias y altas.

En cuanto al trasiego de la fauna, a partir de los análisis ya comentados de ordenación y clasificación realizados sobre la matriz de presencia de fauna de vertebrados en el territorio, se obtuvieron diferentes comunidades faunísticas en función de su capacidad de desplazamiento y del grado de influencia estimada de las infraestructuras sobre su movilidad. La discriminación entre los grupos de especies representa una gradación de la movilidad de los animales en su hábitat en relación a la presencia de infraestructuras.

La valoración de estos tipos faunísticos permitió elaborar un vector en el que se asignó a cada especie el valor de movilidad correspondiente a su grupo del análisis de clasificación. El producto de este vector por la matriz de presencia de las especies en las cuadrículas territoriales permitió obtener un nuevo vector cuyos valores representaban la movilidad potencial de la fauna considerada. En la Figura 45 se presenta la cartografía de estos flujos horizontales potenciales, que expresan un valor integrado de movilidad de los grupos de fauna obtenidos (suma de productos del valor de movilidad por la presencia de cada una de las especies que pertenecen a cada grupo). Pueden detectarse zonas adyacentes con valores altos de movilidad, lo que permite identificar la red principal de conexiones espaciales para la fauna. Las áreas donde los flujos estimados son menores aparecen principalmente en el sureste del territorio. No hay correspondencia clara entre los ENP y el color de las cuadrículas.

3.5. Impactos en la conectividad horizontal

Las matrices de impacto proporcionaron los valores actuales (v_a ; apartado 3.2) asignados a los componentes de la conectividad y los impactos (Δv) estimados por la afección de las diferentes infraestructuras de transporte consideradas. Esta afección supone la mayor o menor modificación de los flujos horizontales en cada punto del territorio, considerado individualmente cada uno de los componentes de la conectividad. En el Apéndice 9 se muestran a modo de ejemplo dos de las 36 matrices de impacto estimados por el equipo de trabajo. Las matrices reflejan la afección a los flujos dependiendo del valor de cada componente de la co-

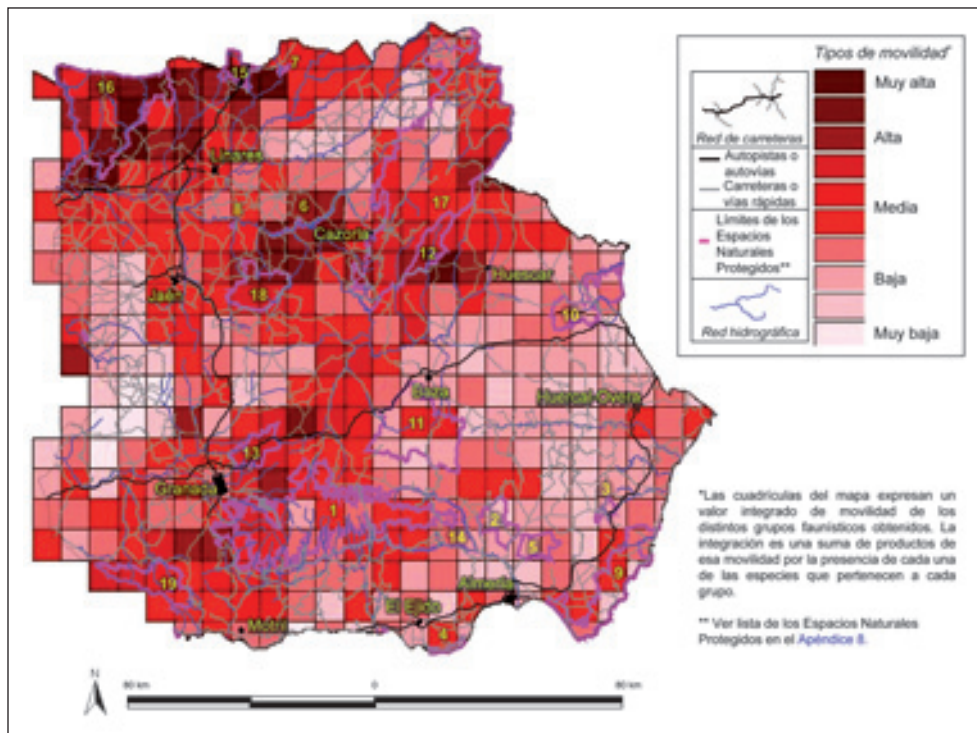


Figura 45. Mapa de flujos horizontales potenciales debidos a la movilidad de la fauna en relación con la presencia de infraestructuras. La fiabilidad del mapa en lo que a conectividad se refiere es menor que la de los mapas obtenidos con otros componentes de la conectividad, dado el gran tamaño de las cuadrículas en las que se encuentra recogida la información.

nectividad en cada lugar del territorio. Los mapas correspondientes obtenidos mostraron los resultados de los impactos calculados para *i)* los componentes físicos de la conectividad, para *ii)* la afección de tensiones ecológicas en fronteras y para *iii)* la afección de la movilidad de la fauna. En el primer caso, los mapas resultan de los cálculos del impacto global producido por cada una de las 12 actividades incidentes en la conectividad y debidos a cada uno de los tres tipos de infraestructuras estudiadas. Pueden constituir, por tanto, un conjunto de 36 mapas (algunas de las actividades consideradas no inciden espacialmente sobre la conectividad debida a los flujos físicos registrada en el conjunto de cuadrículas, de manera que el número de mapas obtenidos ha sido en realidad 31). Los componentes de la conectividad son los 12 descritos en las matrices mencionadas. Los coeficientes de las regresiones correspondientes a cada uno de estos mapas muestran la importancia relativa de la característica incidente sobre cada uno de los componentes de la conectividad (ver Apéndice 10). Estos coeficientes son también una referencia importante para las directrices técnicas que deben aplicarse en cada sitio del territorio para evitar o paliar daños a la conectividad.

En el segundo caso (*ii*) los mapas reflejan el impacto directo de las infraestructuras en las fronteras ecológicas, considerada en este caso como único componente de la conectividad, de

manera que no fue necesario calcular regresiones para conocer su importancia relativa. Igualmente, en el tercer caso (*iii*), los mapas reflejan el impacto directo de las infraestructuras en la movilidad de la fauna, sin que tampoco fuera necesario ese cálculo.

La incidencia de las infraestructuras en la conectividad física puede analizarse con ayuda de las ecuaciones de regresión obtenidas (Apéndice 10). Los coeficientes de valor más alto (señalados con negrita y subrayado en las tablas) corresponden a los componentes de la conectividad sobre los que cada una de las características de las infraestructuras tiene una mayor incidencia relativa. Así, los taludes de las autopistas afectan, especialmente, a la pendiente, drenando el agua que contienen los suelos (0,52), a las zonas de mayor pluviosidad primaveral (0,49) –capaces de retener el flujo hídrico en unos suelos que, en esa época del año, mantienen una vegetación herbácea productiva y con su desarrollo radical óptimo–, a las zonas donde ocurren tormentas veraniegas (0,36) que, por el contrario, en esa época del año carecen de vegetación para detener el efecto erosivo del agua, y a la circulación subsuperficial asociada a la infiltración de los suelos (0,35), debido al drenaje que ocasionaría el talud, volviéndolos secos ladera abajo, a donde se ha cortado el suministro de agua. De esta manera, pueden identificarse algunos indicadores a considerar en las directrices de diseño y construcción de infraestructuras sobre los que se insistirá más adelante.

El valor de los coeficientes sirve también de referencia para marcar las directrices de permeabilización de las infraestructuras ya existentes si los impactos que detectan son comparativamente altos, así como para incorporar normas de *buenas prácticas* al diseño de nuevos proyectos, construcción y mantenimiento de otras infraestructuras, como se indica más adelante.

A manera de ejemplo de los resultados del estudio se presentan algunos de los numerosos mapas de impacto obtenidos a partir del análisis realizado y su expresión cartográfica (Figs. 46 a 50). Corresponden al impacto producido por las interferencias «infraestructuras-conectividad» en varios casos debidos al trazado de autopistas y autovías: «*taludes-flujos físicos*», «*préstamos-flujos físicos*», «*índice de tráfico-flujos físicos*», «*vallados-fronteras asimétricas*» e «*índice de tráfico-movilidad de la fauna*». Así, en la Figura 46 se muestran los impactos sobre la conectividad debida a los flujos físicos generados en el primero de estos casos. Los impactos afectan sobre todo a la capacidad de permanencia del agua que fluye en cada unidad espacial (cuadrícula) que atravesaría la vía y, por tanto, a su conexión con algunas de las unidades que la rodean, de acuerdo con el procedimiento de caracterización de la conectividad empleado. Los componentes de la conectividad con mayores coeficientes son la pendiente del terreno, el flujo hídrico de las zonas de mayor precipitación (primaveral, estival y anual), la capacidad de infiltración del suelo y la interceptación hídrica debida a la vegetación. El rango de impacto es muy elevado respecto al de los demás descriptores: va desde -788,61 a -467,17 (el intervalo máximo de impacto sobre los flujos físicos varía entre -841,75 y 0.). Las zonas del territorio donde este descriptor tiene más peso, según se aprecia en el mapa, son el trayecto comprendido entre Granada y Guadix, por la Sierra de Arana, y el de Granada a Jaén, atravesando las Sierras del Campanario y de Montillana. Igualmente, donde los impactos debidos a la excavación de *préstamos*, son mayores (rango de -677,82 a -310,38; Fig. 47) es en la carretera nacional IV (N-IV) a su paso por Sierra Morena, en la carretera A-316 a Jaén y en todo el trayecto de la N-340/344. La conectividad se ve afectada principalmente en sus componentes debidos a la precipitación primaveral, anual y estival y a la evapotranspiración.

En otro caso que se comenta, el *índice de tráfico* presenta, por su parte, uno de los rangos de impacto más bajos (-312,5 a -37; Fig. 48) alcanzando sus mayores valores en el no-

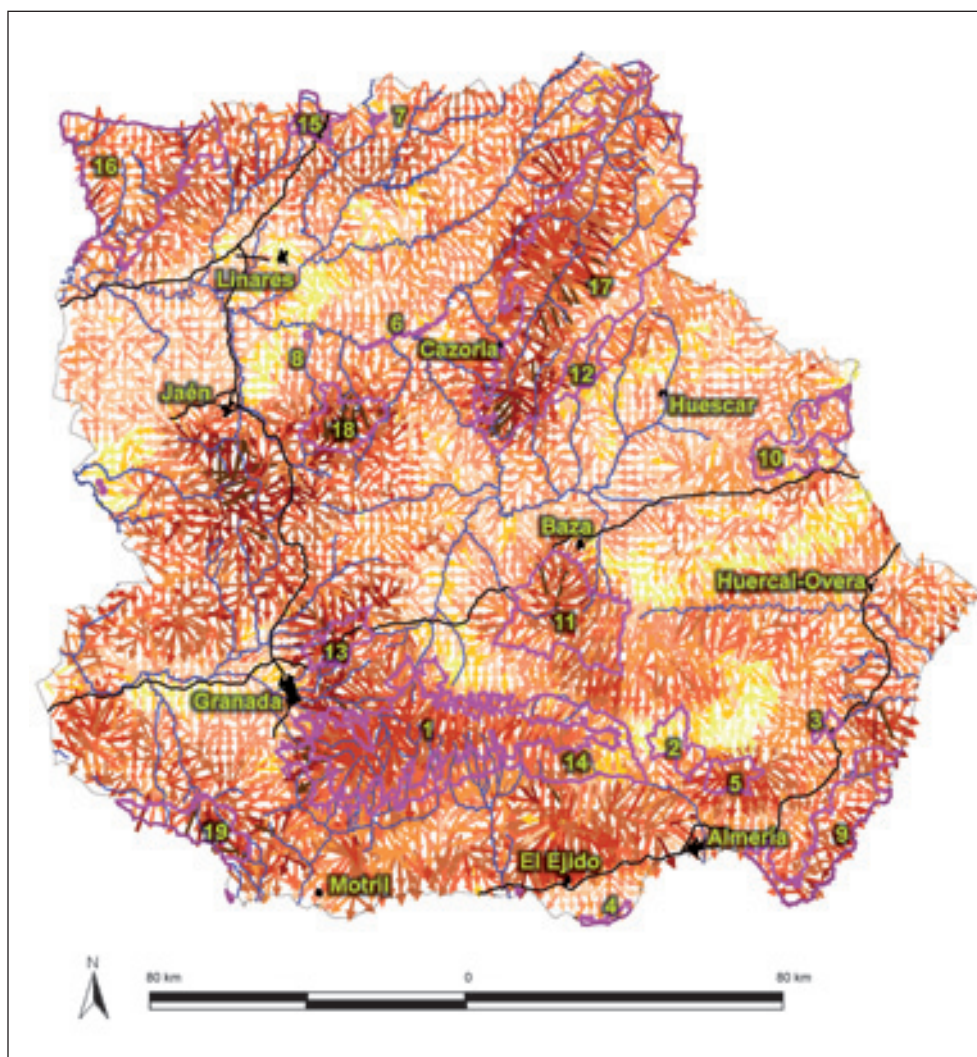


Figura 46. Mapa de impacto de infraestructuras de transporte en la conectividad ecológica. Impacto sobre los flujos físicos debido a taludes de autopistas y autovías.

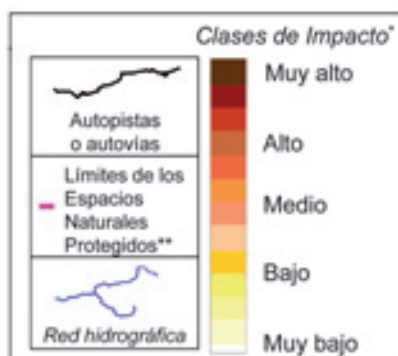
Impacto de taludes de autopistas y autovías

Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv . Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δv_i) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad, $\Delta v = f(\Delta v_i)$, donde v_i son los componentes de la conectividad. Se indican en **negrita y subrayado** los coeficientes de mayor peso ($\geq 0,30$).

Impacto ambiental (Δv) = **0,52** *pend* + **0,49** *pprim* + **0,36** *pest* + **0,35** *infiltr* + **0,34** *intercep* + **0,32** *pa* + 0,21 *evpt* + 0,19 *tiniv* + 0,11 *testiv* + 0,08 *or*

i = pendiente del terreno (**pend**), orientación (**or**), capacidad de infiltración del suelo (**infiltr**), precipitación anual (**pa**), precipitación primaveral (**pprim**), precipitación estival (**pest**), evapotranspiración (**evpt**), temperatura invernal (**tiniv**), temperatura estival (**testiv**), intercepción hídrica de la vegetación (**intercep**)

Los coeficientes de mayor valor sirven de referencia para establecer directrices técnicas de mantenimiento-‘permeabilización’-de infraestructuras ya existentes, así como para el diseño, construcción y mantenimiento de las futuras.



*El rango de impacto calculado varía entre -788,61 y -467,17 (el intervalo máximo varía entre -841,75 y 0).

** Ver lista de los Espacios Naturales Protegidos en el [Apéndice 8](#).

Figura 46b

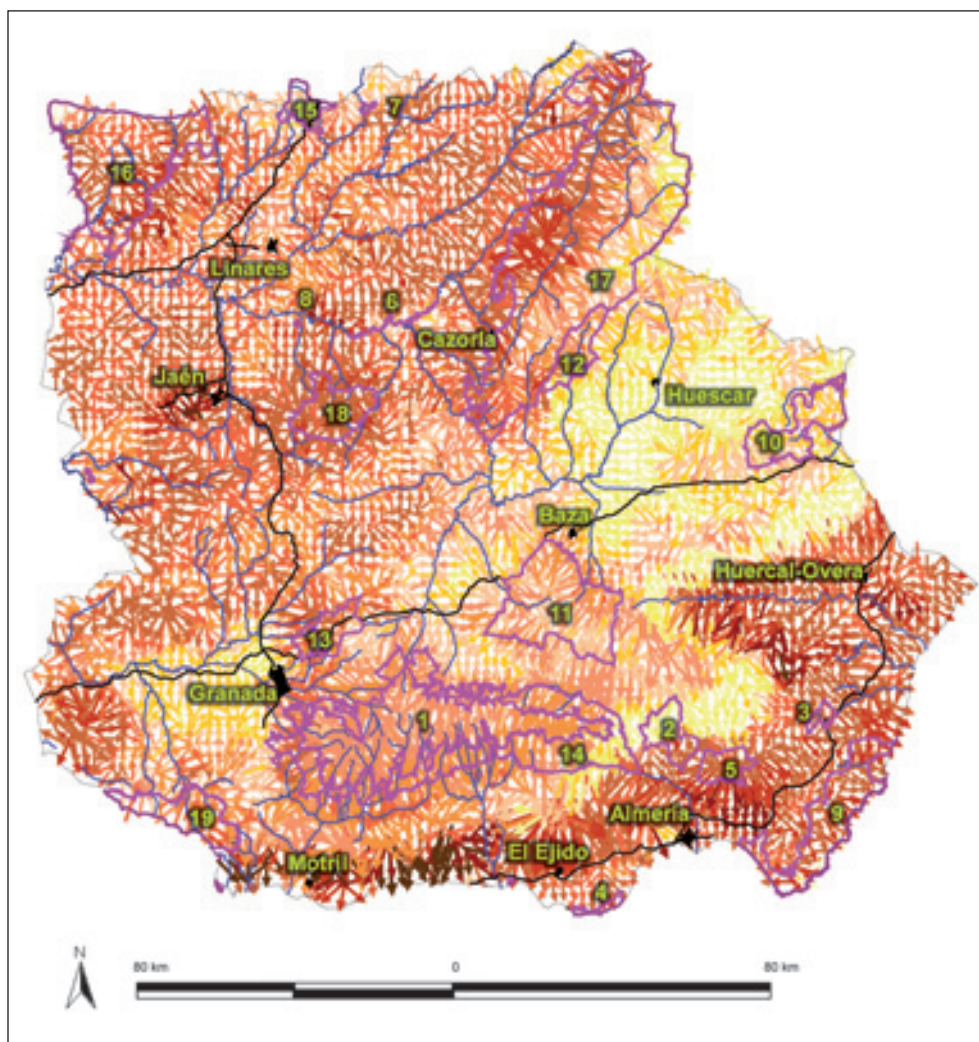


Figura 47. Mapa de impacto de infraestructuras de transporte en la conectividad ecológica. Impacto sobre los flujos físicos debido a préstamos de autopistas y autovías.

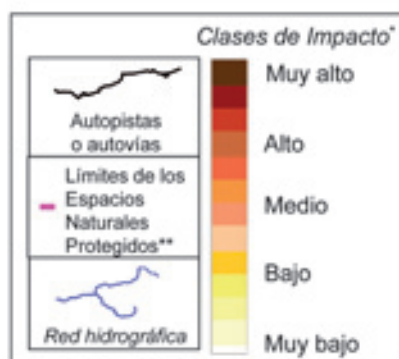
Impacto de préstamos de autopistas y autovías

Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv . Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δv_i) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad, $\Delta v = f(\Delta v_i)$, donde v_i son los componentes de la conectividad. Se indican en **negrita y subrayado** los coeficientes de mayor peso ($\geq 0,30$).

Impacto ambiental (Δv) = 0,46 pprim + 0,34 evpt + 0,31 pa + 0,30 pest + 0,27 infiltr + 0,24 pend + 0,19 testiv + 0,17 tinv + 0,12 or + 0,09 intercep

i = pendiente del terreno (**pend**), orientación (**or**), capacidad de infiltración del suelo (**infiltr**), precipitación anual (**pa**), precipitación primaveral (**pprim**), precipitación estival (**pest**), evapotranspiración (**evpt**), temperatura invernal (**tinv**), temperatura estival (**testiv**), intercepción hídrica de la vegetación (**intercep**)

Los coeficientes de mayor valor sirven de referencia para establecer directrices técnicas de mantenimiento -'permeabilización'- de infraestructuras ya existentes, así como para el diseño, construcción y mantenimiento de las futuras.



*El rango de impacto calculado varía entre -677,82 y -310,18 (el intervalo máximo varía entre -841,75 y 0).

** Ver lista de los Espacios Naturales Protegidos en el Apéndice 8.

Figura 47b

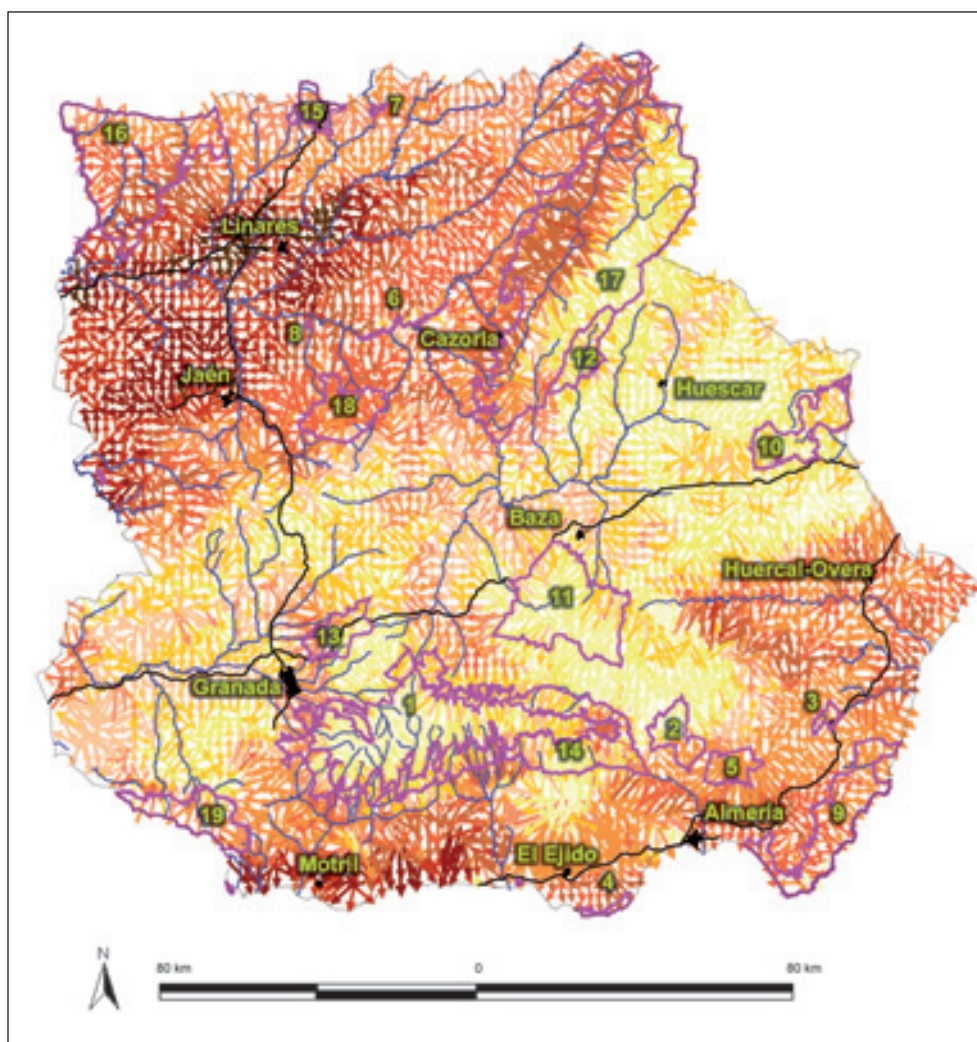


Figura 48. Mapa de impacto de infraestructuras de transporte en la conectividad ecológica. Impacto sobre los flujos físicos debido al índice de tráfico de autopistas y autovías.

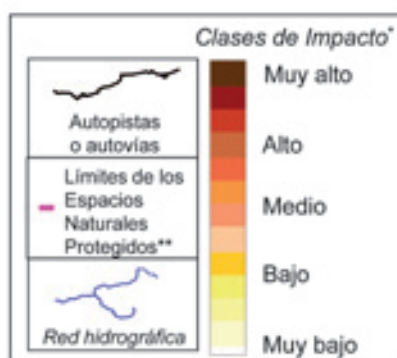
Impacto del tráfico de autopistas y autovías

Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv . Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δv_i) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad, $\Delta v = f(\Delta v_i)$, donde v_i son los componentes de la conectividad. Se indican en **negrita** y subrayado los coeficientes de mayor peso ($\geq 0,30$).

$$\text{Impacto ambiental } (\Delta v) = \underline{\mathbf{0,44}} \text{ evpt} + \underline{\mathbf{0,35}} \text{ testiv} + 0,28 \text{ infiltr} + 0,23 \text{ tiniv} + 0,14 \text{ pa} + 0,11 \text{ intercep}$$

i = pendiente del terreno (**pend**), orientación (**or**), capacidad de infiltración del suelo (**infiltr**), precipitación anual (**pa**), precipitación primaveral (**pprim**), precipitación estival (**pest**), evapotranspiración (**evpt**), temperatura invernal (**tiniv**), temperatura estival (**testiv**), intercepción hídrica de la vegetación (**intercep**)

Los coeficientes de mayor valor sirven de referencia para establecer directrices técnicas de mantenimiento -'permeabilización'- de infraestructuras ya existentes, así como para el diseño, construcción y mantenimiento de las futuras.



*El rango de impacto calculado varía entre -312,5 y -37 (el intervalo máximo varía entre -841,75 y 0).

** Ver lista de los Espacios Naturales Protegidos en el [Apéndice 8](#).

Figura 48b

roeste del área de estudio, Sierra Morena y sus estribaciones. Entre las afecciones que provoca esta característica propia de autopistas y autovías —es decir, los condicionantes estructurales de este tipo de vía para que un tráfico elevado pueda ser absorbido por la misma— muestra interferencias sobre componentes de la conectividad física relacionados con la evapotranspiración y el efecto de la pluviosidad estival en la conectividad de los terrenos atravesados por estas infraestructuras. Situaciones de distintos tipos pueden describirse con los resultados plasmados en los numerosos restantes mapas, que sólo pueden presentarse en un espacio mucho más extenso que el del presente libro.

Los ejemplos de las Figuras 49 y 50 son complementarios. Ambos se relacionan con flujos energéticos en gran medida asociados a la movilidad de la fauna a través de trasiegos mi-

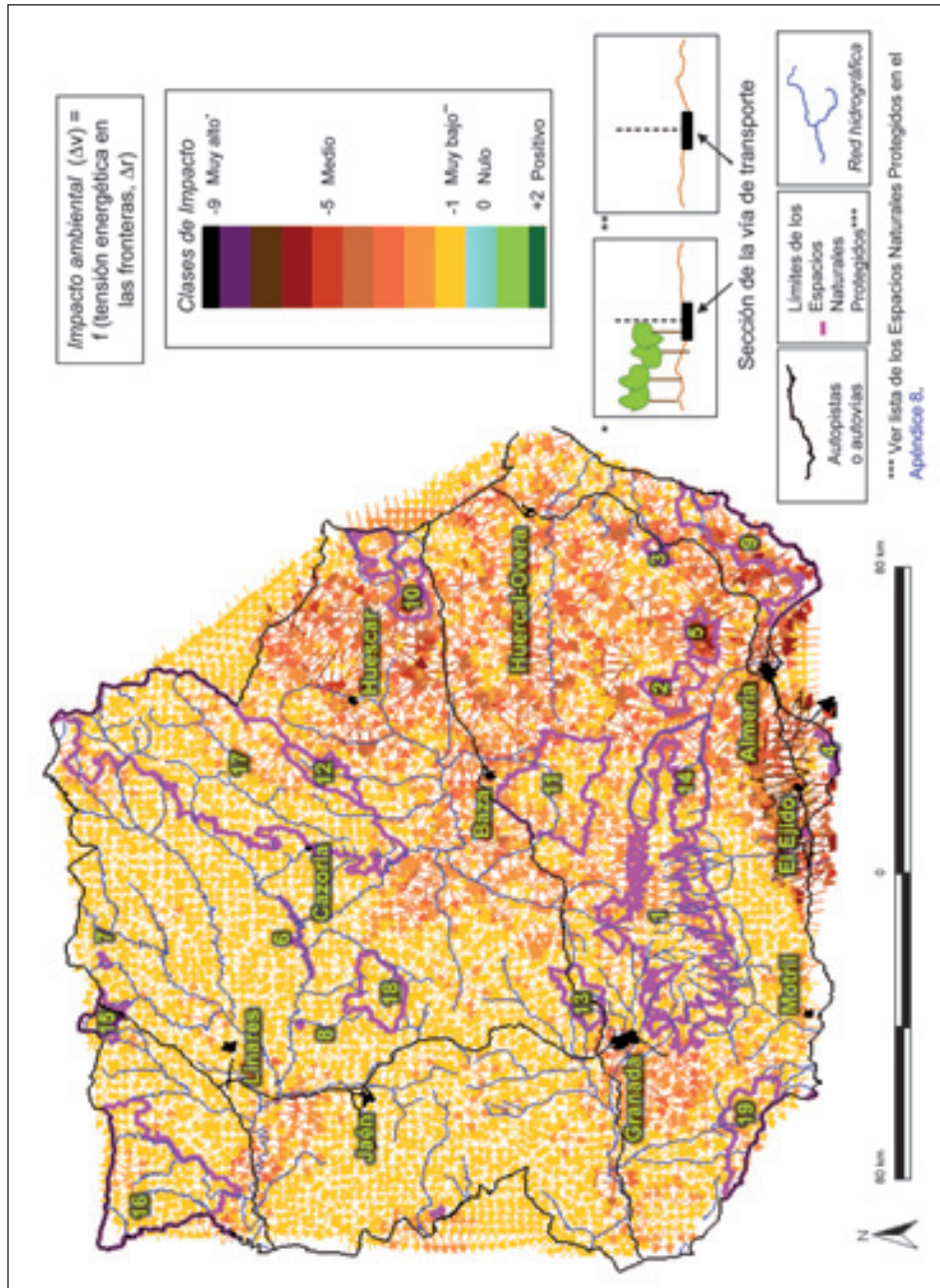


Figura 49. Mapa de impacto del vallado de autopistas y autovías sobre los flujos energéticos potenciales debidos a fronteras ecológicas asimétricas.

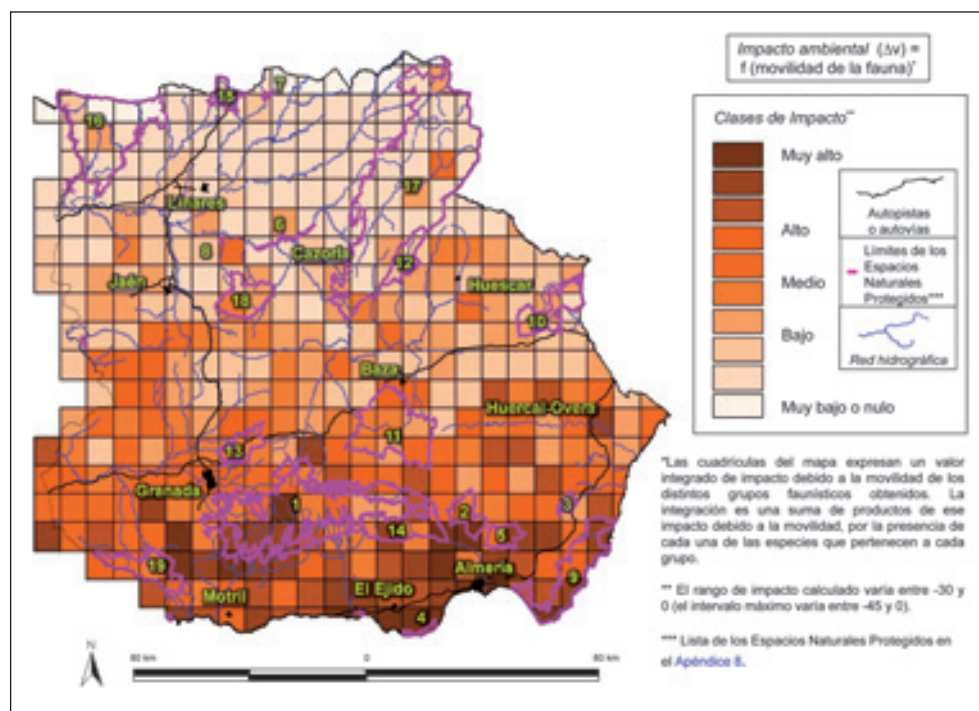


Figura 50. Mapa de impacto del índice de tráfico de autopistas y autovías sobre la movilidad de la fauna.

gratorios por corredores no necesariamente bien definidos o a través de fronteras entre porciones más o menos productivas del espacio. El impacto en los flujos de energía debidos a fronteras asimétricas causado por el *vallado* es muy acusado en el área oeste de la provincia de Almería (intervalo de impacto relativo en esos flujos entre -9 y +2), a lo largo del trayecto de la N-340 desde la costa y el área de El Ejido, hasta las proximidades de la capital (Fig. 49). En el resto del territorio los impactos son muy bajos. En todo el trazado de la carretera N-340/N-344, desde el sur almeriense hasta el límite con Murcia, se dan impactos que varían desde valores medios a muy altos. En la A-92 a su paso por la Sierra de Loja, a la altura de Granada y de Guadix y en todo el recorrido desde Baza hasta el límite provincial murciano se dan impactos de medios a bajos. También en la N-IV por la Sierra de Andújar se localizan algunos valores bajos, mientras que en el resto del área de estudio sólo se observan impactos muy bajos.

Otros casos llamativos, cuyos mapas no se presentan por falta de espacio, como el de las *cunetas*, únicamente presentan valores de impacto muy bajos en la N-340/N-344 –en todo el trazado–, en la A-92 –a la altura de la Sierra de Loja, Granada, Guadix y desde Baza a la provincia de Murcia– y en la N-IV –por la Sierra de Andújar–.

La formalización de la interferencia entre la red de infraestructuras viarias y los flujos horizontales de energía permite identificar a la provincia de Almería como el área más afectada por la ruptura de la conectividad biológica, especialmente en sus sectores S y SE (El Ejido,

Roquetas, Almería capital y área del Cabo de Gata). Es llamativo que precisamente en esta zona es donde se han estimado impactos positivos sobre este tipo de conectividad asociado a la existencia de vías pecuarias y caminos no asfaltados. De igual manera, la afección a la conectividad debida a los flujos biológicos generados por la movilidad de la fauna que ocasiona la *anchura de la calzada* es más acusada al sur del área de estudio. Los mayores valores se localizan en la Sierra Alhamilla (dentro de un rango que va de -26 a 0; el intervalo máximo de impacto relativo sobre los flujos debidos a la movilidad de la fauna varía entre -45 y 0), así como en las inmediaciones del río Almanzora, al sur de Huercal-Overa. El *vallado* alcanza por su parte el rango de impacto más elevado, con valores relativos que varían desde altos a muy altos en todo el territorio, apareciendo los más elevados al S de la provincia de Almería (rango de -37 a 0). El *índice de tráfico* muestra valores de impacto elevados (de -30 a 0) y afecta principalmente a la Sierra Alhamilla y las áreas inmediatas a Granada, Baza, Huercal-Overa, El Ejido y Almería. La conectividad relacionada con los procesos biológicos asociados a la movilidad de la fauna presenta los principales puntos de tensión en su interferencia con la red viaria en el sur de las provincias de Granada y Almería (Sierra Nevada, Puerto del Suspiro del Moro, Sierra Alhamilla, Sierra de Gádor, El Ejido, Almería capital y P.N. Cabo de Gata).

Un análisis general de la evaluación de impacto permite detectar siete áreas críticas respecto a la intercepción de las infraestructuras viarias en los flujos físicos. En primer lugar, mostrando una mayor fragilidad, está el área de Sierra Morena y sus estribaciones. Destacan también por su susceptibilidad a la ruptura de la conectividad horizontal la zona sur de Almería, principalmente las Sierras de Gádor y Alhamilla; en Granada Sierra Nevada y sus estribaciones hasta Guadix; entre Granada y Jaén las Sierras de Campanario y Montillana y en Jaén las Sierras de Cazorla y Segura. Otras zonas del territorio que demuestran sensibilidad ante estas perturbaciones son el NW de la provincia de Granada y, en Almería, el Parque Natural de Cabo de Gata, desierto de Tabernas y Sierra de los Filabres.

En apartados anteriores se llamó la atención sobre la falta de una correspondencia clara entre la capacidad de retención de flujos y la presencia de un ENP (Fig. 43 a 45), considerando que la declaración de estos espacios tiende a considerar otros valores de referencia diferentes a la conectividad. La apreciación de los componentes de la conectividad física o su afección por actividades humanas no han formado parte nunca, de manera expresa, de la relación de criterios de declaración de tales espacios^(172,201,205,274). Ahora, no obstante, en relación con los costes que provoca la red de infraestructuras viarias, merece destacarse que un examen visual de los mapas de esos costes permite apreciar una mayor concentración de impactos de las infraestructuras en la conectividad física de zonas que curiosamente contienen con frecuencia ENP. La correspondencia no es estrecha, pero sí evidente en algunos casos (Figs. 46-47) y menos patente en otros (Figs. 48-50). Aunque los valores asignados a la conectividad en los ENP del área no eran llamativamente distintos a los del resto de la matriz territorial sí lo son gran parte de los impactos ahora estimados. Esto a pesar de que la pertenencia de las cuadrículas analizadas a un espacio protegido no se ha tenido en cuenta ni en la valoración inicial de la conectividad ni en la estimación de impactos, según el procedimiento seguido.

La coincidencia encontrada «afección a la conectividad-espacio protegido» refleja probablemente peculiaridades mesoclimáticas y topográficas de estos espacios respecto al resto del territorio que son sensibles al trazado de infraestructuras. Como se indicará más adelante, la circunstancia invita a iniciar la práctica de restauración de la conectividad precisamente en los espacios considerados naturalísticamente más valiosos, extrapolándose la experien-

cia al resto del territorio. Esto es importante como experiencia de incorporación de la conectividad a las tareas de conservación de la naturaleza, pues el número de ENP de España es de 1.115, de acuerdo con el Anuario EUROPARC España⁽⁷³⁾ y suman 5.171 ha (más del 10% del territorio, estando la figura de «parque» representada en el 70% de esa superficie). El número de municipios implicados es de 1.040 (17 M de habitantes, el 38% del Estado).

En todo caso, debe observarse que mantener el comportamiento natural de la conectividad aguas arriba de un espacio protegido es determinante para la conservación de los procesos naturales en el interior de éste (y no sólo aguas arriba: sólo el ejemplo de la Fig. 39 permite entender la importancia que tiene para la conservación de la naturaleza el llevar a la práctica estas consideraciones). Además, el mantenimiento de la conectividad dentro de ese espacio redunda en beneficios sobre la matriz territorial –por ejemplo, aguas abajo de los límites del espacio–, que serían la consecuencia de una buena gestión de la conectividad en el interior de éste y el suministro de los servicios ecosistémicos que con tanta insistencia se reclama actualmente a la pasiva tarea de la conservación de la naturaleza –ver, entre otros, Martín-López *et al.*⁽¹⁶⁷⁾–.

Las incidencias que pueden detectarse a través del estudio de impacto realizado, los coeficientes de regresión obtenidos y la visualización de los mapas son numerosas y pueden alargar la descripción notablemente. De toda ella puede concluirse que el tipo de procedimiento seguido detecta incidencias y proporciona elementos de toma de decisiones que deben ser urgentemente incorporados ya a la planificación de las infraestructuras en cualquier territorio. Más adelante se volverá sobre ello, después de recurrir a las directrices técnicas generales que pueden orientar la ejecución de infraestructuras.

3.6. Directrices técnicas generales

Se ha indicado que los resultados obtenidos en el caso presentado sirven de indicadores de las medidas necesarias para evitar, minimizar o predecir impactos ambientales en la conectividad. En general puede decirse que, en último caso, de acuerdo con Morilla Abad⁽¹⁸¹⁾, para entender bien la secuencia de las decisiones y acciones que surgen con la iniciativa de hacer una carretera hasta llegar al comienzo de las obras, «deben asimilarse los conceptos y contenidos de los trabajos que, de modo progresivo, van dando lugar a documentos que terminan en un *proyecto de construcción*». En la actualidad carecería de sentido ignorar las consideraciones ambientales en la elaboración de tales documentos. En el caso particular de las infraestructuras de transporte, la incorporación de la idea de tejido territorial y, en consecuencia, la formalización de los diferentes componentes de la conectividad ecológica y de las interferencias que causan en ella los proyectos constructivos constituyen hoy en día una labor de transdisciplinariedad que resulta ya ineludible.

- *Estudios de impacto ambiental.* La propuesta y la ejecución de un proyecto debe contar con una «declaración de impacto ambiental» llevada a cabo por la administración. El contexto de la esta declaración y el contenido de los estudios previos necesarios para realizarla –en la actualidad centrados en «estudios de EIA (evaluación del impacto ambiental)»– se muestran en el Apéndice 11. El decreto y reglamento correspondiente para elaborar la declaración de impacto son los documentos que hoy se encuentran en vigor y que, debe decirse, obligan a proceder con poco margen de

innovación e, incluso, de creatividad en los estudios. En el proceso que conduce a la declaración de impacto hay deficiencias que no son recientes y hace tiempo que debieron empezar a subsanarse⁽⁶⁵⁾. Los documentos en vigor son sistemáticos y voluntaristas –sin duda no redactados por ecólogos, aunque alguno fuera consultado– cuyo interés actual radica más en influir en una cierta toma de conciencia sobre el medio ambiente por la administración y la sociedad que en el éxito de su aplicación o en su fundamento científico, socioeconómico o técnico, que sólo algunos funcionarios parecen apreciar. Por el momento, no obstante, deben ajustarse a este reglamento determinados proyectos y actividades humanas con incidencia en el ambiente. Todos la tienen, aunque la aplicación de la idea concierna a los considerados como de repercusión más grave, en cuyo caso no debieran llevarse a cabo, o bien ejecutarse de acuerdo con medidas correctoras y restauradoras que muchas veces no son tales.

La dirección ambiental de planes y proyectos de desarrollo por parte de la administración y de los promotores requiere una actualización de aquellos documentos y su apertura a una innovación cada vez más urgente. El apartado del reglamento citado relativo al «inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves» señala que será necesario estimar los efectos de un proyecto dado sobre «la gea, el aire, el clima, la fauna, la población humana, el paisaje o la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada», entre otros. Aunque sólo los dos últimos efectos darían información suficiente para estimar todos los demás, los fenómenos físicos y procesos biológicos y culturales que subyacen en paisajes y ecosistemas constituyen por el momento objetivos raramente contemplados en estos estudios y que la administración tampoco exige. Entre ellos están los ligados a la conectividad ecológica que se describe y defiende en este libro. La consideración de estos fenómenos y procesos debiera jugar cuanto antes un papel más destacado en la evaluación de planes y proyectos, esencialmente porque permiten entender el ambiente como un sistema, el territorio como un tejido y el paisaje como el resultado del funcionamiento de ambos. Ninguna de estas ideas se refiere a conjuntos de entes aislados de diferentes naturalezas sino a interrelaciones ambientales (ecológicas, económicas y sociológicas).

En relación con los proyectos de desarrollo, la tarea sigue necesitando un marco para el incentivo y el consenso para que la ejecución de tales proyectos no siga percibiéndose como dilema entre conservación con una perspectiva policial de la tarea por un lado y desarrollo y su aplicación a ultranza por otro, sino como gestión de recursos naturales y conservación activa. La conservación debe ser también un incentivo para la ingeniería civil, que puede aportar mucho a la idea, y una invitación al trabajo transdisciplinar desde las propias fases de planificación y decisión política a las de construcción y uso de la obra humana. Obviamente la educación ambiental y la toma de conciencia constituyen la base para ello, no las visiones sectoriales.

- *Estudios de planeamiento.* Dentro del campo de intereses profesionales del promotor de las infraestructuras, estos estudios definen de modo general las obras de un determinado tipo que se prevén realizar en una comarca, región o todo un Estado (por ejemplo, el Plan General de Carreteras de Andalucía puede considerarse un estudio de planeamiento). Estos planes se caracterizan porque⁽¹⁸¹⁾: i) abarcan una gran región o un territorio uniforme desde el punto de vista político (comunidad autónoma, provincia),

físico (litoral mediterráneo, cuenca del río Ebro) o sociológico (áreas de montaña de la Cornisa Cantábrica, Las Hurdes, etc.); *ii*) establecen prioridades entre las obras planificadas; *iii*) abarcan periodos largos de tiempo (quinquenios, decenios o más tiempo) y contienen una precisión de actuaciones periódicas, pues los planes a largo plazo suelen verse modificados por criterios económicos, sociales y, sobre todo, políticos; *iv*) manejan variables físicas, económicas y geográficas pero sobre todo, se guían por criterios de servicio a poblaciones, circunstancias sociológicas, de compensación territorial y de tipo político; y *v*) las valoraciones económicas de cada obra, se hacen con criterios estadísticos basados en valoraciones de obras anteriores, luego modificadas por aspectos técnicos, climáticos y económicos que suponen actualización de precios; *vi*) no definen ubicaciones concretas de las obras, sino áreas o corredores.

- *Estudios informativos.* Son estudios «previos» que tienen la finalidad es estudiar las posibles soluciones para una obra concreta («estudio previo» para ejecutar una presa, de soluciones para ejecutar la carretera desde un lugar a otro, etc.). A veces consta de dos partes: «estudio previo de soluciones», sin definir una concreta y «estudio informativo» que define en líneas generales la solución elegida que sirve de base a un expediente de información pública⁽¹⁸¹⁾: «Estos estudios *i*) abarcan un corredor concreto en el caso de obras lineales o un área delimitada en el caso de obras más concentradas; *ii*) manejan diversos tipos de magnitudes, como capacidad de servicio o funcionalidad, presupuesto global de cada solución, impacto ambiental, estudios climático y geográfico, variables sociológicas como las relativas al desarrollo general y sectorial de la zona, datos geológicos, geotécnicos, hidrológicos, dificultades técnicas concretas, etc.; *iii*) para establecer la solución más adecuada se recurre a cuadros de valoración de cada una de esas variables, que se traducen a índices numéricos (la elección de sistemas de valoración es frecuentemente problemática, por cuantificar variables con carga subjetiva, como el valor del impacto ambiental, la influencia de la obra en el bienestar de la población o su repercusión histórico-artística; *iv*) definen el periodo de realización de cada solución y de la opción conveniente dentro de un margen pequeño de tiempo (un semestre) y de posible variación; *v*) las valoraciones económicas de cada obra se refieren a precios globales, como km de carretera, con mediciones y precios de las unidades importantes para comprobar el resultado total estimado; *vi*) definen, generalmente a escalas 1/50.000 - 1/100.000, las ubicaciones de las soluciones estudiadas y la opción elegida, aunque pueden sufrir modificaciones en anteproyectos o proyectos; *vii*) recogen de forma relativamente detallada las áreas de afección de otros servicios, como conducciones, líneas eléctricas, propiedades, zonas protegidas, cauces, patrimonio histórico-artístico, etc., para que organismos o personas afectadas puedan alegar pertinentemente (un objetivo importante de los estudios previos de soluciones); y *viii*) los documentos de estos estudios suelen contener una memoria con anexos generales, planos 1/200.000 (variables generales) –1/50.000 (variables detalladas)– 1/5.000 (estudios de cada solución) y presupuestos general y comparativos».
- *Anteproyectos.* Su finalidad es definir la solución técnica de una obra fijando el procedimiento o tipología más adecuada para cada elemento, acotando exactamente la ubicación general de la obra, su precio relativamente exacto y plazo de ejecución. «*i*) se refieren a un área geográfica concreta y definida; *ii*) incluyen cálculos detallados de

los elementos funcionales o estructurales fundamentales y otros aproximados de los elementos secundarios; *iii*) contienen valoración económica con mediciones detalladas de los elementos importantes; *iv*) constan de planos generales 1/5.000 - 1/2.000 sin detalles constructivos; *v*) contienen valoración con bastante exactitud del presupuesto de expropiaciones y servicios afectados; y *vi*) contienen una estimación del plazo de ejecución de las obras con error menor de un trimestre y plan de obra esquemático»⁽¹⁸¹⁾.

- *Proyecto de construcción.* Son los proyectos propiamente dichos. Su finalidad es proporcionar todos los datos necesarios para que la obra se construya, es decir⁽¹⁸¹⁾: «*i*) delimitar con exactitud el terreno en que se implanta el proyecto y todas las zonas de influencia, acotando las magnitudes; *ii*) disponer de cálculos detallados de los elementos integrantes del proyecto; *iii*) presentar una memoria detallada que explique las causas de la adopción de cada uno de los elementos del proyecto, con apéndices con todos los datos e informaciones que han servido para fijar los parámetros de cálculo, diseño y desarrollo de las operaciones matemáticas que resulten muy especializadas para la memoria; *iv*) fijar con exactitud los precios de materiales, unidades simples y compuestas así como partidas alzadas, justificando la magnitud de cada precio y la formación del mismo, descomponiendo éste en materiales, maquinaria, mano de obra y otros gastos; *v*) presentar presupuestos parciales, totales de ejecución material y de contrata de todas las unidades de obra; *vi*) disponer de un pliego de condiciones muy detallado; y *vii*) adjuntar planos, que constituyen un conjunto de gráficos, plantas, perfiles, secciones, alzados y perspectivas que permiten construir todos los elementos de la obra con detalle suficiente: 1/50.000 - 1/5.000 (planos de situación); 1/1.000 - 1/100 (planos generales); 1/100 - 1/10 (planos de detalle grandes) y 1/10 a 1/2 (planos de detalles pequeños)». Obviamente, el proyecto de construcción debe modificarse tras la declaración de impacto ambiental establecida, incorporando en su presupuesto las indicaciones de éste, medidas correctores, etc., que no deben ser consideradas meras recomendaciones.

Proyectistas y constructores

1. *Consideraciones ambientales para proyectistas.* Un ingeniero encargado de una obra debe contemplar en sus presupuestos medidas restauradoras, de vigilancia y control de la efectividad por unidades de obra en la fase de construcción y de explotación y una relación de actividades que podrían emprenderse durante la obra para minimizar costes ambientales^(109,110,112). Las tareas que deben estar presentes en la obra pueden enumerarse como propias del control que debe llevar a cabo permanentemente un técnico especialista de impacto ambiental: *i*) replanteo ecológico integrado, *ii*) estudio de pasos de agua, *iii*) fomento de vegetación riparia en cauces interferidos, *iv*) permanencia a cielo abierto de pasos de aguas en medianas, *v*) control hasta pontones de la relación sección/longitud, *vi*) revegetación inmediata de taludes en terraplenes y desmontes, *vii*) control de aguas en cabecera de desmontes con aportes altos, *viii*) diseños adecuados en áreas de fuentes, pozos o afloramientos, *ix*) estudio de interferencias con flujos de aguas subterráneas, *x*) tratamiento externo en obras con frentes visibles de hormigón, *xi*) control de ocupación innecesaria de suelo por terraplenes, *xii*) transporte continuo a vertedero de tierras sobrantes, *xiii*) recuperación selectiva de

vertidos líquidos contaminantes, *xiv*) eliminación de aparatos y restos de obra seleccionando un vertedero controlado para «basuras de obra», *xv*) control itinerario de máquinas, especialmente cerca de cauces, *xvi*) reducción y control del polvo en caminos e instalaciones, *xvii*) reducción y control de ruidos, *xviii*) elección y restauración de canteras, préstamos y caballeros, *xix*) restauración natural de caminos y áreas de obra, y *xx*) elección y diseño de frecuentes áreas de descanso y de vistas pintorescas, enlazadas cuando es posible a itinerarios peatonales y seguimiento con informe diario del grado de cumplimiento del «plan de medidas correctoras».

Importa destacar en los aspectos anteriores el interés que tiene para la conectividad ecológica y el funcionamiento del paisaje la solución adoptada para resolver con eficiencia las interferencias de las carreteras con los cauces fluviales (Figs. 39 y 51). Acondicionar hidráulicamente un cauce (uniformizar su sección, aumentar la velocidad del agua o urbanizar su zona de influencia) supone un reto técnico diferente que acondicionar ecológicamente un río (mantener su funcionamiento natural, con su dinámica estacional e interanual y la permanencia o recuperación de su biocenosis⁽¹¹⁾). El río debe conservar su diversidad ambiental, tipología de aguas de acuerdo con la cuenca drenada, abundancia y velocidad de cascadas, rápidos, remansos y estancamientos, forma y profundidad de charcos y pozas, proporción de fuentes y surgencias, huecos entre piedras, tipología de fondos, relación cauce-nivel freático, evolución estacional de playas, cortados rocosos y cantiles. Las obras de «acondicionamiento hidráulico» de cauces en zonas de interferencia carretera-río producen en general alteraciones que deben ser evitadas, como la invasión de biotopos naturales, ocupación de suelo ribereño, reducción de la sección natural de avenidas, modificación de la estética del paisaje natural, desplazamiento de especies y comunidades biológicas, modificación de los flujos hídricos, contaminación de aguas y suelos, facilitación del aumento general de presencia humana y acumulación de desperdicios).

La ingeniería civil actúa sobre ecosistemas y la información sobre sus componentes y funcionamiento deben conocerse con la colaboración de equipos interdisciplinares, necesarios desde las primeras etapas del trabajo (ver Apéndice 12). Importa no ubicar plantas o instalaciones cerca de lugares sensibles (áreas de recarga de acuíferos, arroyos, zonas lacustres, etc.). Deberá disponerse de un sistema de recuperación de las aguas usadas y evitar la existencia de puntos de acumulación de aguas, vaciado de contenedores, depósito de neumáticos usados, etc., que además constituirían focos de plagas y lugares insalubres. Debe disponerse también de un adecuado sistema para el drenaje de las instalaciones. Como se indica en las Figuras 31-35, 39 y 51, la localización de una carretera puede modificar seriamente los flujos hídricos, por tanto, han de evitarse interferencias derivadas de la afección de los escurrimientos naturales, superficiales o por drenaje de una ladera.

Entre sus cometidos, y en consecuencia, la ingeniería lleva habitualmente a cabo acciones que conciernen a la valoración ambiental, a la conservación de la naturaleza y, en su caso, a su puesta en valor. En relación con los aspectos que acaban de tratarse es razonable llevar a cabo actividades como *i*) evitar recoger las escorrentías superficiales de las cuencas para concentrarlas en otro punto del cauce cuando elevan sensiblemente sus caudales máximos, *ii*) no reducir la sección de las obras de paso, en los cauces fluviales a la estrictamente necesaria para el caudal de agua máximo de

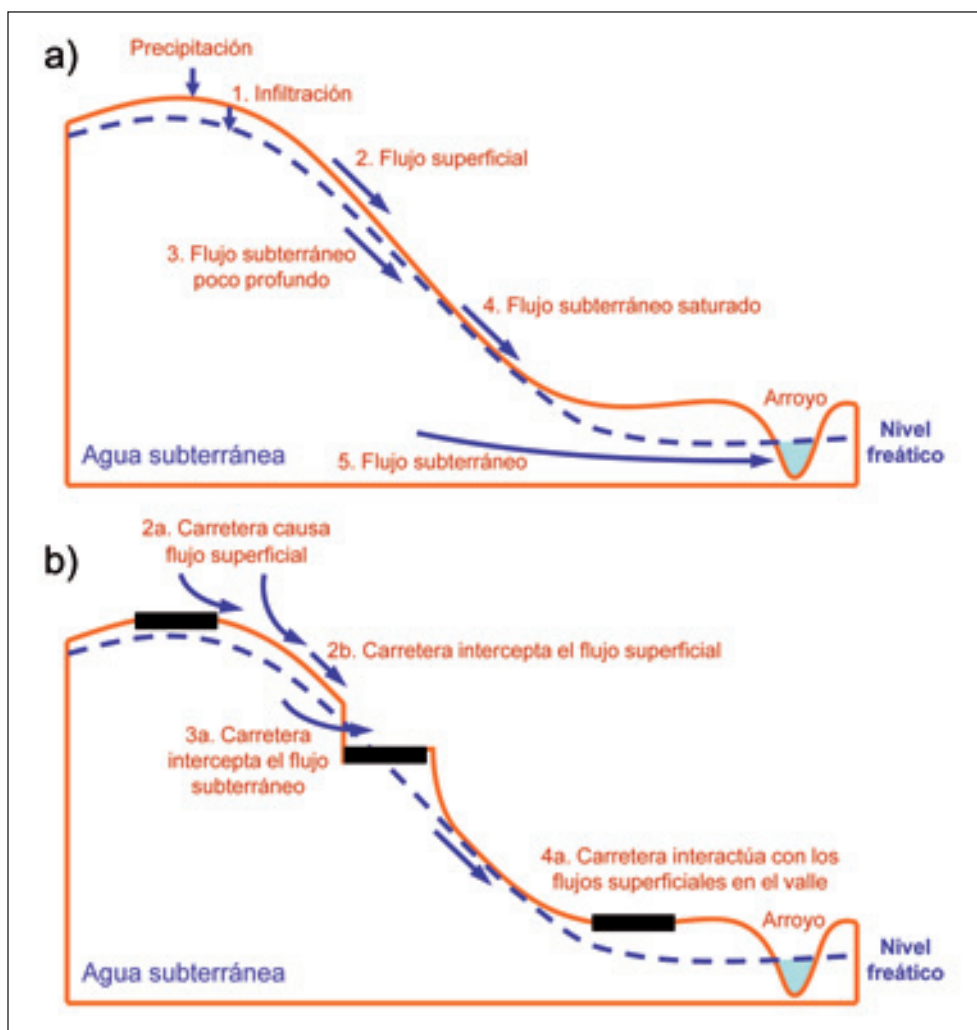


Figura 51. Interferencia de una carretera sobre los flujos hídricos: a) flujos naturales de agua; b) flujos alterados por la carretera en diferentes posiciones de la ladera. Adaptado^(67,128,289). Modificado a partir de Forman *et al.*⁽⁸⁵⁾.

cálculo, *iii*) evitar construir «pasos provisionales» de obra en los cauces fluviales, causando un «efecto barrera» para la biocenosis fluvial, *iv*) evitar realizar movimientos de tierras en los cauces fluviales o sus proximidades que provoquen turbiedad de las aguas y faciliten el arrastre de elementos finos, *v*) evitar cruzar los cauces fluviales con maquinaria, *vi*) no deben generarse escorrentías, hacia los cauces fluviales con cualquier tipo de componentes contaminantes, elementos finos en suspensión, procedentes de la obra, etc., *vii*) no deben producirse lixiviados de basuras, vertederos o escombreras capaces de contaminar las aguas subterráneas o generar arroyadas, y *viii*) no deben producirse vertidos, directos o indirectos, que puedan alterar las aguas superficiales o subterráneas (aceites, fuel, gasolina, pinturas, betunes, cemento, ácidos).

Movimientos de tierras

- *Proyectos de desmontes.* Se ha indicado que los desmontes presentan distintos efectos ambientales y paisajísticos según estén ejecutados a un sólo lado de la carretera (cuando ésta discurre a media ladera) o a ambos lados (desmontes y terraplenes; ver también Fig. 39). En todo caso, como ocurre con los grandes terraplenes, estas acciones pueden suponer fuertes deterioros para el entorno, por lo que su diseño debe hacerse teniendo en cuenta condicionantes como los siguientes: *i)* estudio de las formas que deben darse a las crestas y partes altas (más visibles), de los desmontes para hacerlos menos conspicuos; *ii)* tratamiento de sus pendientes y formas bajo la dirección de obra, en función de los detalles y diferencias geológicas, litológicas y de estabilidad, para lograr un alejamiento de la característica tipología en «lajas de sandía»; *iii)* diseño y proyecto «irregular» de las bermas a lo largo del desmonte, evitando líneas horizontales (en todo caso es importante mantener la eficacia de sus funciones: paliar la erosión por acarcavamiento, al fragmentar los planos de escurrimiento, y proporcionar el acceso a distintos niveles del desmonte para operaciones de conservación de la vegetación o restauraciones antierosivas); y *iv)* diseño de pendientes cuasinaturales, proyectando en su caso falsos túneles», para desmontes realizados en zonas reconocidas como de alto valor estético, que resulten muy visibles desde puntos muy frecuentados, con visuales próximas a la dirección tangente a la carretera.
- *Proyecto de terraplenes.* Por su morfología lineal más o menos plana, rectilínea y alargada (completos, a media ladera y de cruce de valle), los terraplenes producen distorsiones patentes en el paisaje a veces difíciles de eliminar. En todo caso, *i)* pueden camuflarse en el paisaje sus planos, reproduciéndose en su medida los elementos morfológicos predominantes; *ii)* romperse las líneas horizontales de sus tramos destacados contra el horizonte, considerándose los puntos de máxima visibilidad; *iii)* restaurarse la cobertura vegetal en consonancia con la composición y estructura de sus comunidades naturales, estado ecológico sucesional y paisaje cultural del área; *iv)* combinarse diferentes pendientes en un mismo terraplén, acomodadas a las diferencias geológicas, estratigráficas, edáficas, estado de alteración y estabilidad, evitándose «lajas de sandía»; y *v)* sobredimensionarse las medianas, dándoles un ancho amplio, para instalar arbolado suplementario, que consiga un complemento mimético, tratando de lograr desdibujar la franja de la carretera de las vistas cuasilongitudinales que suele mostrar sobre todo en lomas.

Para los *terraplenes que cruzan valles* es preciso tomar medidas adicionales que, aunque dependen de las condiciones morfológicas, podrían abarcar *i)* la posibilidad de cruzarlos a baja/alta cota; *ii)* analizar distintas combinaciones para decidir dimensiones y solución adoptada para el diseño del paso para las aguas fluviales (caños, pontones, puentes, etc.); *iii)* sopesar efectos de soluciones combinadas puente/terraplén para distintas combinaciones de longitudes, incluso las extremas de todo terraplén y todo puente; *iv)* encajar la restauración vegetal con la tipología que predomine en los sotos, márgenes y reticulados del valle afectado; *v)* desdibujar la línea horizontal de la carretera tratando de conseguir una forma en V más fácil de mimetizar con la estructura del valle; y *vi)* diseñar, en su caso, estructuras resistentes (maceteros de hormigón,

por ejemplo) en pilares, ménsulas, laterales del tablero e, incluso, colgando de éste, haciendo posible la plantación de arbustos y árboles que mimeticen las estructuras del puente con el soto fluvial y entorno.

- *Proyecto de préstamos.* En líneas generales, y como recomendación de buena práctica, parece lógico que los huecos hechos en los préstamos fueran rellenados con los materiales que habrían de llevarse a los caballeros –también pueden utilizarse para enterrar restos de obra inútiles (si son inertes y no contaminantes)–.

Puede ser difícil conocer la posición exacta (planta y alzado) de los materiales útiles del préstamo, pero se debe tratar de establecer un programa concreto para las operaciones de extracción de forma interactiva con las de relleno. En todo caso debe preverse lo siguiente: *i)* un pretratamiento de la zona, retirando y almacenando la «tierra vegetal»; *ii)* el trazado de los caminos de acceso para vehículos y de emplazamiento para las zonas de clasificación y maquinaria; *iii)* un esquema temporal de explotación y encaje con la producción de tierras inútiles para caballero; y *iv)* prever el resultado esperado para el final de las obras, que debe garantizar la eliminación de caminos, instalaciones de obra y tratamientos para la restauración ambiental tras finalizar las obras; para esto es conveniente disponer de un archivo fotográfico detallado del área meses antes y después de las obras.

- *Proyecto de caballeros.* En todos los supuestos, la ubicación sobre el terreno de las tierras sobrantes, debe quedar planificada, identificada, cuantificada, definida su morfología y, obviamente, incluida en el proyecto (por tanto, previamente, de modo coordinado con el equipo ambiental, deberá disponerse de la evaluación previa de su impacto ambiental y paisajístico y proyecto de medidas correctoras y programa de seguimiento⁽¹¹³⁾. Si los volúmenes de tierras sobrantes resultan elevados (por resultar inadecuadas para terraplenes las tierras de desmontes, construcción de túneles u otras razones técnicas), los caballeros pueden constituir un factor de elevado impacto. En consecuencia, para estos casos, debe realizarse un proyecto constructivo adicional para cada caballero, que contenga y defina factores como: *i)* volumen de tierras y características geológicas y edáficas; *ii)* calendario y ritmo de producción de tierras durante la obra; *iii)* estudio de alternativas para la ubicación del caballero; *iv)* valoración de impactos en función de las características del caballero; y *v)* proyecto constructivo del caballero seleccionado, en función de su adaptación paisajística a la morfología del entorno (debe contener una completa definición morfológica, planta y alzado, justificación de pendientes y formas adoptadas, definición de las etapas de su desarrollo temporal, estudio de los caminos de acceso y movimiento de maquinaria, programa de retirada y reutilización paulatina de la «tierra vegetal» de su planta, para reducir movimientos y ubicaciones temporales, obras necesarias de fábrica y drenaje complementarias, características del acabado superficial y remate de perfiles, proyecto completo del tratamiento de su cobertura vegetal y programa de seguimiento y restauración).
- *Consideraciones sobre la compensación de tierras.* En el caso concreto de terraplenes a media ladera debe evitarse la compensación de tierras en la misma sección. Esto se hace cuando resulta mayor el volumen de tierras procedentes del desmonte que el necesario para ejecutar el terraplén y, en consecuencia, resulta más barato ampliar el te-

rraplén que llevar las tierras al caballero. Esto significa la construcción de una plataforma mayor que la necesaria, lo que supone una ocupación mayor de suelo natural. Está claro que, junto al análisis de su incidencia en la conectividad por parte del equipo ambiental, cuando sea necesario realizar estas operaciones, deben estar también valorados y justificados los beneficios sociales y de otro tipo (oportunidad para vistas pintorescas, itinerarios ambientales, etc.). Podría tal vez reducirse el coste ambiental desdoblado calzadas, siendo los condicionantes locales quienes sirvan para motivar y decidir la acción.

Por razones similares quizá debe dudarse del principio, tradicionalmente admitido sin debate crítico previo, de la mera compensación de tierras en el tramo de la obra en cuestión cuando se trate de zonas que hayas sido identificadas como de alto valor ambiental. La razón que justifica este comportamiento, sin que su aplicación ofrezca ninguna duda al ingeniero, es la experiencia de la práctica profesional basada en razones estrictamente de «economía técnica», aunque en la práctica puede llevar a consecuencias ambientales negativas, por ejemplo cuando la traza discurre perpendicularmente a valles paralelos que exigen alternar desmontes y terraplenes con afecciones de flujos y de ecosistemas fluviales. En realidad se trata de valorar correctamente los costes ambientales derivados de mayores ocupaciones de suelo e interferencias en la conectividad ecológica territorial, comparándolos con los ahorros económicos que supone evitar la creación de caballeros (ubicados y proyectados de forma ambientalmente correcta) para depositar los materiales sobrantes.

- *Control e la erosión en desmontes y terraplenes.* El problema de la erosión es bien conocido y no parecen necesarios nuevos consejos, pero es importante tener presente actividades como las siguientes: *i)* planificar las actividades peligrosas durante el verano, para que terminen antes de la llegada de las lluvias (las comarcas de clima árido y semiárido con lluvias en primavera o verano, sin efectos amortiguadores de la vegetación han sido detectadas, no obstante, en el estudio de caso comentado, como un componente importante de costes ambientales en la conectividad); *ii)* revisar el terreno meticulosamente antes de comenzar las obras; *iii)* marcar las zonas con pendientes sensibles, los patrones de drenaje y los tipos de suelo; *iv)* proyectar diseños adecuados para el control de la erosión en cada punto concreto; *v)* mantener las superficies desnudas expuestas el menor tiempo posible a la erosión hídrica; *vi)* conservar el terreno natural sin alterar en la mayor superficie posible; *vii)* seleccionar las especies de plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas más adecuadas para restaurar taludes y cuencas; *viii)* disponer con antelación de calendario de plantaciones y restauración de áreas sensibles a procesos erosivos; *ix)* reducir al mínimo la inclinación de los planos de desmontes y terraplenes, la longitud de la línea de máxima pendiente de esos planos para reducir los caudales evacuados y proyectar, en su caso, bermas o drenajes intermedios; y *x)* controlar emisiones de polvo, mediante riegos sistemáticos, reducción de la circulación o la velocidad de vehículos, y otras acciones semejantes.
- *Carreteras de montaña, vías singulares y puntos de parada paisajística.* Los tratamientos y recomendaciones anteriores toman mayor relevancia en carreteras de montaña. Sus efectos ecológicos y paisajísticos pueden ser serios si no se sitúan en cierto contexto. El proyecto de una carretera proporciona a su autor un buen co-

nocimiento de la zona que atraviesa y, en particular, de las zonas estéticamente más relevantes, ubicación de fuentes y manantiales, lugares con mayor atractivo naturalístico y ambientes adecuados para el descanso. Determinadas carreteras soportan una cierta circulación de vehículos cuyos ocupantes tienen como objetivo más importante realizar un recorrido que llegar a alguna parte. Por tanto, puede importar considerar, como complemento al proyecto técnico y ambiental, el diseño de puntos de parada en sitios con cuencas visuales amplias o singularidades ambientales cuya localización debe estudiar expresamente el equipo ambiental junto con el director del proyecto. Se trataría de proyectar y construir vías de comunicación respetuosas con el entorno y promocionar sus valores entre los usuarios de la carretera. Esto supone un mejor conocimiento de la región por los turistas, promoción y acercamiento de los visitantes a los pequeños pueblos, mayor retención del turismo en el medio rural (restauración, hospedaje, artesanía y creación de empleo). Partiéndose de una planificación territorial previa e inteligente, debe considerarse la potencialidad paisajística y educativa de la carretera. Estudiar en las cercanías del trazado los lugares con presencia de agua, vegetación notable, cotas elevadas singulares, espacio disponible, proximidad a pueblos, posibilidades de mantenimiento y asistencia, distancias adecuadas a núcleos mayores, etc., permite abarcar un resultado final con establecimiento de itinerarios peatonales cortos y accesos de visitantes al territorio que el estudio de impacto ambiental previo haya analizado ya por su capacidad de acogida y méritos de conservación. Incorporar estos puntos en una carretera supone considerar *i)* señalizaciones previas en la carretera, *ii)* dotaciones higiénicas sencillas (bancos, mesas, fuentes, *wc*, papeleras, en su caso servicios de bar, souvenirs, etc.), instalaciones para descanso, aparcamiento y plataformas paisajísticas, *iii)* información fija educativa refiriendo las características naturales y culturales del entorno, *iv)* arranque de itinerarios peatonales a zonas de interés, y *v)* sistemas de mantenimiento y limpieza; todo lo cual debe suponer acuerdos previos de participación, compromisos y beneficios municipales.

2. *Consideraciones generales para constructores.* Analizada la documentación ambiental del proyecto, como *etapa previa* el replanteo y la localización de instalaciones y accesos a la obra, deben llevarse a cabo según la aptitud de uso, calidad y fragilidad del medio⁽¹³⁶⁾. El jalonamiento (delimitación de la superficie de afección, demarcación de los límites sobre el terreno) debe minimizar la superficie afectada para evitar afectaciones innecesarias. Los límites del ámbito de actuación de la obra y la señalización de las zonas a proteger de la influencia de las obras, habrán de establecerse, siempre con carácter previo, al comienzo de cualquier actividad —en todo caso, antes de cualquier tala o desbroce— incluyéndose la franja correspondiente al movimiento de tierras, zonas de ocupación de instalaciones auxiliares y caminos de acceso. Debe hacerse un jalonamiento específico para las zonas adyacentes que el equipo ambiental haya detectado como de «especial valor ambiental», según especificaciones como: *i)* uso de jalones que una vez introducidos en el terreno sobresalgan un mínimo de 0,70 m; *ii)* establecimiento de una distancia máxima entre jalones de 5 m; *iii)* utilización de una malla vistosa o cinta entre jalones y *iv)* ejecución de zanjas o cordones de tierra, complementaria a la utilización de jalones.

Estudio de casos

Para prevenir afecciones debe clasificarse el terreno, tal como debe estar recogido en el Anejo de integración ambiental del proyecto constructivo en *zonas excluidas* (las estimadas de mayor calidad o fragilidad ambiental), *zonas restringidas* (de menor valor ambiental que las anteriores⁸) y *zonas admisibles* (las zonas del territorio afectado por la obra que presentan valores ambientales menores por estar antropizadas, contener ya vertederos, canteras abandonadas, etc.). Es recomendable utilizar y acondicionar, si fuera necesario, la red de caminos existentes en la definición de los accesos a la obra, utilizar la traza como zona de paso, usar canteras abandonadas para ubicar vertederos de materiales inertes, así como de inertes o de residuos de la construcción que se localicen próximos a la zona de obras, solicitando previamente la información pertinente a la administración. En cuanto a los préstamos de materiales, deben tener prioridad los procedentes de canteras en explotación y que dispongan de la preceptiva autorización de explotación.

En la *etapa de obras* debe tenerse en cuenta la *contaminación del aire*, debido en parte al polvo generado por la excavación, carga y transporte de materiales, tránsito de vehículos, perforaciones y voladuras y plantas de hormigonado o de clasificación de áridos. Para paliar efectos es habitual regar periódicamente las superficies de los viales. La frecuencia de riego debe regularse en cada zona, época del año y características del terreno. En la ejecución de las perforaciones para las cargas de explosivo deben usarse equipos con mecanismos captadores de polvo y, en las voladuras, microretardadores, para reducir la producción de polvo. También debe considerarse la *contaminación acústica*, limitando la ejecución de actividades ruidosas al horario diurno, usando compresores y perforadores de bajo nivel sónico, revisando y controlando periódicamente los silenciadores de los motores, diseñando barreras antirruído con la limitación de la zona de seguridad a los lados de la vía, pantallas absorbentes o reflectantes y, si hay espacio y su coste es asumible, instalación permanente de diques de tierra adecuadamente revegetados.

Acciones específicas durante las obras

- a) *Permeabilización de la infraestructura*. Uno de los principales condicionantes de la conectividad ecológica es la ubicación de la infraestructura. Los valles fluviales suelen actuar como corredores biológicos y es importante maximizar la luz de paso bajo el viaducto. Para obras de drenaje transversal deben i) sobredimensionarse las

⁸ En las primeras de estas áreas sólo debiera admitirse la localización de instalaciones de servicio de obras, con carácter temporal durante su ejecución. Cuando finalice la obra, tales instalaciones temporales se dismantelarán completamente y el área afectada tendrá que restituirse a sus condiciones originales. Pueden ser zonas de cultivo, con vegetación naturalizada, etc. En las restringidas no debe permitirse localizar construcciones permanentes ni temporales, acopio de materiales, viales o instalaciones de servicio de las obras, excepto aquellos elementos o instalaciones con carácter puntual y que resulten imprescindibles y de inexcusable realización para la ejecución de la obra. En estos casos la ubicación, siempre temporal, quedará condicionada a la restitución íntegra e inmediata del espacio afectado a sus condiciones iniciales. Estas zonas serían los espacios naturales de protección especial, yacimientos arqueológicos catalogados, ríos y vegetación natural asociada, lagunas, humedales, zonas inundables, acantilados, cuevas y simas.

obras de drenaje; *ii*) adecuarse una banda lateral en seco o un corredor en aquellos drenajes donde ocurra una circulación regular de agua, previéndose la construcción de pequeñas plataformas de hormigón, o preferiblemente de escollera, a la salida de los drenajes, en el supuesto de que haya un desnivel entre la boca de drenaje y la bajante; *iii*) evitarse obras de drenaje encaradas contra taludes próximos u otro tipo de elemento que pueda sugerir dificultades en la salida; y *iv*) acondicionarse como pasos de fauna, incluso en seco, los pasos de agua.

- b) Conservación del suelo.* La ejecución de una obra implica ocupar un área cuyo suelo puede llegar a desaparecer. En sí mismo esto puede constituir un coste serio y más aún considerándose su relación con la circulación del agua y la conectividad física. El decapado, acopio y mantenimiento de la tierra vegetal útil procedente de los terrenos a ocupar por las obras deben ajustarse a una secuencia lógica: *i) Decapado de tierra vegetal*, es decir, la retirada de los horizontes superficiales del suelo. El proceso ha de realizarse tras el replanteo y jalonamiento del área de afección directa o indirecta por la obra (acopios temporales, zona de instalaciones, vertedero de excedentes de inertes, etc.). Un grueso adecuado de la capa de tierra vegetal decapada es de 30 cm y debe retirarse inmediatamente tras las operaciones de desbroce de vegetación y, si fuera el caso, del trasplante de árboles designados en proyecto. Las operaciones de retirada y almacenamiento de esta tierra pueden retrasarse en el supuesto de que el suelo esté saturado de humedad (la manipulación de este material en estas condiciones supone un mayor deterioro de sus propiedades originales y aumenta la posibilidad de fermentación cuando está acopiado, dificultando luego el arraigo y desarrollo de la vegetación a importarse. *ii) Acopio de tierra vegetal*. Debe hacerse en montones separados de los caminos y zonas de paso de la maquinaria y debe haber una separación mínima de 4m entre caballones, de forma que se evite la escorrentía entre los caballones además de ofrecer espacio suficiente para el movimiento de la maquinaria que transporte la tierra almacenada. Conviene que la superficie que se destine al acopio de la tierra vegetal sea suficientemente plana y haya sido previamente acondicionada, siempre en lugares bien drenados cuyo perímetro quede delimitado con jalones. *iii) Disposición de un plan de gestión de la tierra vegetal extraída y acopiada*. Debe figurar en él el volumen real de tierra vegetal contenido en cada acopio, su procedencia, tiempo estimado de almacenamiento y superficie y ubicación previstas para su reutilización en las labores de restauración. La presentación de este documento es necesaria para el inicio de las labores de aportación y extendido de tierra vegetal. *iv) Enriquecimiento de la tierra vegetal*. Cuando se prevea que esta tierra haya de estar acopiada por un tiempo superior a un año; en suelos exentos de vegetación o con baja cantidad de materia orgánica, debe procederse a su enmienda orgánica –la adición de materia orgánica obtenida con materiales disponibles en la zona (estiércoles, lodos de depuradora, compost, etc.)–. *v) Protección de los sistemas fluviales*. Debe evitarse la ocupación por parte de cualquier instalación o servidumbre en los cauces y líneas de drenaje natural del territorio, incluso temporalmente,
- c) Protección frente a la contaminación de suelos y aguas.* Compromete a varias acciones específicas: *i) Tratamientos de aguas contaminadas*. Asociadas a bocas de túneles y a instalaciones donde pudiera darse cualquier tipo de agua residual (parque de maquinaria y plantas de tratamiento) deben incorporarse instalaciones adecuadas para la recogida de ésta, como balsas de decantación, separación de grasas y neutra-

lización, donde sea necesario⁹. La superficie destinada a instalaciones auxiliares (parque de maquinaria, planta de machaqueo, de hormigón, almacén de residuos peligrosos, oficinas, etc.) tiene que disponer de una impermeabilización del suelo en las áreas donde se realicen operaciones o actividades potencialmente contaminantes (área de reparación y mantenimiento de la maquinaria, área de repostaje de combustible, almacén), con zanja perimetral de desvío y retención de la escorrentía exterior y una balsa impermeabilizadora de separación de aceites y grasas. Tales sustancias deben gestionarse según su consideración de residuo especial y mediante gestor autorizado.

ii) *Evitación de arrastres de componentes sólidos a cursos fluviales*. Para minimizar efectos de turbidez deben preverse barreras de retención de sedimentos mediante balsas de paja de cereales, que permiten la circulación de agua y retienen hasta un 75% de los sólidos arrastrados. Esta barrera debe situarse a pie de ladera, parcialmente enterrada y sujeta con estacas.

iii) *Protección de la vegetación natural*. No debe circularse fuera del área delimitada de trabajo. El desbroce de vegetación debe limitarse a la superficie estrictamente necesaria, operándose mediante calendario, protocolo preciso y supervisión del equipo ambiental, aminorándose la superficie ocupada y respetando el jalonamiento. Se delimitarán específicamente contornos protegiéndose troncos con tablones. En las proximidades de las plantas de hormigón se recomienda la limpieza periódica foliar del polvo depositado en la vegetación y no ignorar nunca su presencia. No deben usarse zonas externas a la obra para aparcamientos o labores de mantenimiento de vehículos. Si accidentalmente quedaran afectados árboles de cierta entidad (ramas rotas, tumbados o deteriorados) prever su restauración (no deben autorizarse operaciones que generen chispas en zonas y periodos con peligro de incendio).

iv) *Protección específica de la fauna*. Entre las molestias causadas por distintos factores transitorios (luz, ruido, polvo, etc., y permanentes, asociadas a la infraestructura se encuentra la fragmentación y reducción de hábitats, efectos barrera y aumento de mortalidad. El control de molestias debe contemplar el respeto riguroso a los periodos de alta sensibilidad de la fauna, zonas de reproducción y otras áreas sensibles, minimizándose la contaminación lumínica y acústica en tramos sensibles, particularmente con prohibición de voladuras en determinados periodos.

vi) *Conservación de hábitats*. Conviene un jalonamiento con correcta acotación de la zona de estricta ocupación de obras, garantizándose prioritariamente el funcionamiento hidráulico de cursos, todo tipo de flujos relevantes y una mínima transitabilidad biológica acuática y terrestre. Para ello deben reducirse las longitudes de tramos afectados, maximizar la sección de cualquier conducción que haya ejecutarse, observar la presencia de cavidades subterráneas y simas como elementos singulares y como hábitats relevantes.

vii) *Atenuación de los factores de mortalidad*. Debe llevarse a cabo mediante cierres y dispositivos de fuga, adecuaciones tales como la de la red de abastecimiento eléctrico y emplazamiento de pantallas elevadoras del vuelo de aves.

⁹ El tratamiento de las aguas procedentes de la excavación de túneles, consiste en recoger las aguas generadas durante el funcionamiento de la maquinaria, concentrarlas y decantarlas debido a la alta concentración en sólidos que presentan. Para depurarlas se conducirán a una balsa de decantación (de dos cuerpos) para decantar los sólidos y neutralizar el pH. Las balsas habrán de estar oportunamente impermeabilizadas y correctamente dimensionadas para tratar con eficacia el volumen de agua generado. También se tendrá en cuenta los efluentes generados y los posibles vertidos accidentales, y por otra parte, el caudal de escorrentía que llegue a la balsa teniendo en cuenta la superficie a drenar y la precipitación máxima esperada para un periodo de retorno de 50 años.

Debe diferenciarse una *etapa de restauración ambiental de las zonas afectadas por la obra*, con objeto de restablecer en lo posible las condiciones originales del territorio. Las acciones necesarias son las siguientes: i) *Desmantelamiento de instalaciones temporales, limpieza del terreno y acondicionamiento de las superficies afectadas*. Con objeto de recuperar el terreno ocupado durante la obra y su integración en el entorno deben realizarse estas operaciones con demolición de estructuras de hormigón y retirada de escombreras a vertedero. Deben limpiarse los terrenos afectados, y preparar el terreno para su uso final. Los terrenos fuertemente compactados pueden precisar un esponjamiento superficial mediante *ripper*, favoreciéndose la infiltración, ralentización de flujos hídricos y colonización biológica. ii) *Remodelado de taludes y control de la erosión*. En general, cabecera, pie y márgenes de taludes suelen presentar perfiles muy escarpados, difíciles de revegetar y expuestos a arroyada. Las cárcavas provocadas deben ser eliminadas y modelarse los perfiles de los taludes, sin excesivo refinamiento de sus superficies (inicio de erosión laminar). La construcción de cunetas de guarda a la cabecera de los taludes permite recoger la escorrentía y evitar erosiones, la evacuación de la escorrentía no infiltrable puede facilitarse mediante bajantes o drenes laterales. iii) *Tratamientos previos para la restauración vegetal*. Deben adecuarse a las unidades paisajísticas afectadas, previendo que la actividad de los restauradores habrá de tener en cuenta condiciones ambientales físicas, carácter de la diversidad biológica en la zona y usos agrarios. Estas consideraciones se refieren también a la revegetación de desmontes y taludes —pueden revisarse los modelos de combustibles partiendo de los ya clásicos de Rothermel^(237,238) e ICONA⁽¹²⁵⁾—.

Finalmente debe contemplarse una *etapa de explotación y seguimiento*. Deben prevenirse los incendios forestales y, particularmente en vías ligadas al uso regular de viajeros, considerarse la importancia de controlar los puntos de detención de viajeros y mercancías. El seguimiento de impactos y la efectividad de las medidas correctoras necesita considerar niveles local, nacional y global. Es esencial el mantenimiento de la vegetación implantada en las zonas restauradas (en las plantaciones debe llevarse a cabo la reposición de marras, riegos de mantenimiento, conservación de soportes («vientos» y «tutores», protectores y podas). Igualmente, importa el mantenimiento de las medidas implantadas en las zonas restauradas (como sistemas de drenaje, limpieza de cunetas y bajantes, mantenimiento de pasos de fauna, cerramientos y dispositivos para fauna), así como el seguimiento de las medidas correctoras: efectividad avalada por estudios y publicaciones. Es necesario un seguimiento oficial de las medidas que adecuan las infraestructuras al entorno y el acceso programado y sistematizado a bases de datos —que ya empiezan a ser excelentes en relación con algunas cuestiones tratadas aquí—, entre ellas son necesarias las relativas de puntos negros de atropellos de animales, alimentadas, entre otros, con datos apropiados¹⁰. El intercambio de información entre expertos acreditados es muy necesario, como la cooperación transfronteriza local y regional.

El seguimiento debe contemplar medidas correctoras junto a las de vigilancia ambiental, publicando la información junto con manuales de buenas técnicas perma-

¹⁰ Servicio de la Guardia Civil de Protección de la Naturaleza (SEPRONA), Dirección General de Tráfico, grupos ecologistas, Consejerías competentes y Ayuntamientos.

nentemente actualizados con ejemplos de construcciones piloto, técnicas ambientales para infraestructuras, criterios que mejoren la planificación, diseño y ejecución de tales proyectos y criterios de integración paisajística). En la fase de seguimiento, los programas de vigilancia ambiental son muy relevantes. La vigilancia proporciona información que puede ser utilizada para una predicción más precisa de impactos propios de situaciones similares. Permite prevenir frente a impactos inesperados o frente a súbitos cambios en las tendencias de los impactos. Las medidas de vigilancia podrían implicar una planificación preliminar, así como una posible aplicación de medidas de regulación. La información puede usarse para valorar la eficacia de las medidas correctoras aplicadas y determinar su permanencia.

3.7. Directrices técnicas específicas

Las recomendaciones que constan a continuación pueden contar con el apoyo de leyes, normas e instrucciones técnicas en parte ya existentes y referidas en los apartados precedentes (ver más adelante, apartado 4). En algunos casos se trata de incluir aspectos importantes no considerados aún, o considerados escasamente, en la gestión del ambiente, así como en la planificación, construcción o uso de las infraestructuras de transporte. Las recomendaciones se hacen a partir de los resultados del estudio de caso realizado, es decir, teniendo en cuenta las reacciones estimadas en los componentes de la conectividad territorial frente a las características o parámetros de las infraestructuras (apartados 3.2 a 3.5). La Tabla 3 indica sintéticamente los puntos de mayor incidencia detectada entre infraestructuras y componentes considerados de la conectividad ecológica.

Es patente que la severidad de la perturbación de las vías de transporte contempladas decrece regularmente con el rango de éstas: «autopistas y autovías», «carreteras y vías rápidas» y «caminos no asfaltados y vías pecuarias». La importancia relativa de las características que definen estas vías se ha estimado, no obstante, a efectos de su incidencia en la conectividad, dentro de cada uno de esos rangos. La representación cartográfica de impactos correspondientes a cada uno de ellos y para cada característica se ha hecho también individualmente, de manera que la detección de las interferencias producidas tiene, pues, como casi todo lo que concierne a la conservación de la naturaleza, valor comparativo. Estas interferencias (impactos) invitan al constructor y al gestor de la infraestructura a dirigir su atención al menos hacia los aspectos más relevantes, si no pudieran afrontarse todas las soluciones a las interferencias «infraestructura-conectividad» producidas por una vía de transporte en una comarca determinada.

Las recomendaciones son válidas, en general, para todo el territorio considerado a la escala a que se ha desarrollado el estudio. Emanan del equipo técnico que ha asesorado este estudio en el análisis técnico de la red de infraestructuras. Las recomendaciones se refieren a cada una de las doce características contempladas. Entre algunas de ellas existen correlaciones evidentes (respuestas semejantes de la conectividad; por ejemplo, entre las características «velocidad de circulación» que la vía permite y sus «radios de curvatura»).

Hay, pues, similitud de respuesta que ha sido posible estimar en la conectividad e imposibilidad de detallarla a la escala del estudio que, como se indicó más arriba, persigue establecer un procedimiento general de actuación aplicable a escalas de mayor detalle –el *know how* para trabajos con finalidad aplicada–. Se considera que con la información referida a porciones espaciales de 100x100 m resulta muy fiable la apreciación de las interferencias estu-

Tabla 3. Síntesis de los impactos estimados. Indicaciones sobre las incidencias de mayor impacto en los componentes de la conectividad –impacto negativo elevado (L), medio (K) o positivo (J)– según el estudio realizado. Se deben a las características contempladas en los tres tipos de infraestructuras de transporte indicadas. Pueden servir para establecer las directrices de actuación en el diseño, ejecución y mantenimiento de estas infraestructuras. Las matrices de impacto calculadas para la conectividad física, así como los mapas de impacto correspondientes y los obtenidos para señalar los puntos de conflicto entre los otros componentes de la conectividad (fronteras asimétricas y movilidad de la fauna local) sirven igualmente de referencia para estas indicaciones.

Componentes de la conectividad ecológica		Componentes de la red de infraestructura																																	
		Autopistas y autovías												Carreteras y vías rápidas												Caminos no asfaltados y vías pecuarias									
		Plataforma	Vallado	Taludes	Terraplenes	Veloc. de circulac.	Radio de curvatura	Cunetas	Préstamos	Caballeros	Bermas	Vías de servicio	Índice de tráfico	Plataforma	Taludes	Terraplenes	Veloc. de circulac.	Radio de curvatura	Cunetas	Préstamos	Caballeros	Bermas	Vías de servicio	Índice de tráfico	Plataforma	Taludes	Terraplenes	Veloc. de circulac.	Radio de curvatura	Cunetas	Préstamos	Caballeros	Índice de tráfico		
Flujos físicos derivados de las influencias de:	pendiente del terreno	(L)		(L)		(K)	(L)	(L)			(L)		(L)		(L)		(L)	(L)					(L)		(L)		(L)		(L)	(L)			(L)		
	orientación																																		
	capacidad de infiltración del suelo			(L)	(K)									(L)	(L)	(K)		(L)							(L)	(L)	(L)	(L)	(L)				(L)		
	precipitación anual	(L)		(L)										(L)	(L)			(L)							(L)	(L)	(L)	(L)	(L)				(L)		
	precipitación primaveral	(L)		(L)										(L)	(L)			(L)							(L)	(L)	(L)	(L)	(L)				(L)		
	precipitación estival	(L)		(L)		(K)								(L)	(L)			(L)							(L)	(L)	(L)	(L)	(L)				(L)		
	evapotranspiración								(L)					(L)	(L)			(L)							(L)	(L)	(L)	(L)	(L)				(L)		
	temperatura invernal																																		
	temperatura estival														(L)	(L)			(L)															(L)	
	intercepción hídrica por la vegetación			(L)	(L)										(L)	(L)			(L)																(L)
Flujos ecológicos ligados a:	fronteras asimétricas	(K)	(K)	(L)	(L)	(K)	(K)					(L)	(K)	(K)	(L)	(L)	(K)							(L)	(K)									(L)	
	movilidad de la fauna	(K)				(K)	(K)						(K)	(K)			(K)	(K)						(K)	(K)									(L)	

Estudio de casos

diadas –una escala compatible para el análisis de muchos de los componentes de la conectividad respecto a la ejecución de cualquier proyecto de infraestructura–.

Una de las recomendaciones de carácter más general para paliar la afección a la conectividad física se presenta, por ejemplo, en esquemas como el del *bypass* laminar que se presenta en la Figura 52.

Considerando los resultados del estudio de caso se hacen las consideraciones siguientes:

a) *Plataforma-anchura de calzada*

- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* Las regresiones calculadas para *autopistas* y *autovías* en el territorio estudiado indican como afecciones más relevantes a la conectividad las debidas a la pendiente de las laderas y a la precipitación anual, estival y primaveral de los lugares afectados por la vía (Apéndice 10).

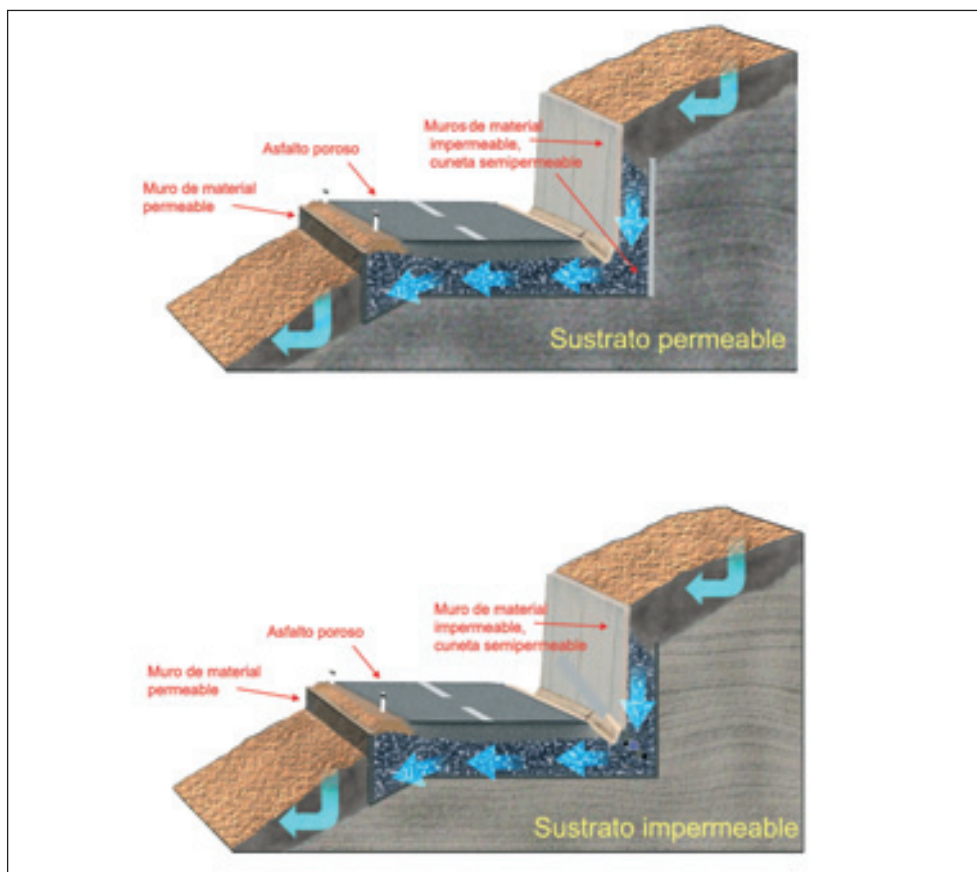


Figura 52. Efecto barrera en flujos hídricos de ladera. Sección de una carretera cuyo efecto se ha corregido mediante *bypass* laminar con un relleno poroso de capacidad de infiltración semejante a la del suelo original que ha sido interferido por la carretera. La afección a la conectividad hídrica es menor en el caso de un sustrato permeable que tenga cierta potencia, resultando entonces pequeña la reducción de la sección del flujo subsuperficial originado por el desmonte.



Figura 53. La carretera siempre supone una desviación del flujo laminar de los fluidos del suelo a lo largo de las laderas, sobre todo debido al desmonte, cunetas y terraplén que suelen acompañar su recorrido por una ladera. En ausencia de estos componentes (foto inferior), la afección al flujo es menor, sobre todo si el grado de desarrollo del suelo, particularmente en sus horizontes superiores, y la presencia de hojarasca en éstos puede amortiguar el efecto, haciéndolo «poco diferente» del comportamiento natural de los flujos. El hecho de que la carretera discorra cerca o lejos de la divisoria de aguas hace que la interrupción del flujo laminar de la ladera sea, respectivamente, menos o más importante.

En *carreteras* y *vías rápidas*, aunque el impacto absoluto sea comparativamente inferior que en las vías anteriores, esas regresiones indican también afecciones relevantes a la conectividad debida a esos mismos componentes, añadiéndose, en comparación con las incidencias de otras características de estas vías, la conectividad relacionada con la infiltración y circulación subsuperficial del agua en el suelo y con la evapotranspiración del área.

Los mismos componentes de la conectividad vienen a ser también afectados por *caminos no asfaltados* y *vías pecuarias*, aunque con interferencias absolutas comparativamente menores.

En relación con la pendiente, la ralentización del flujo natural de ladera ocurre con pendientes suaves. Como soluciones técnicas a su interrupción por el trazado de la vía se propone, en el caso de dobles vías, separar en altura las calzadas de modo que minimice la intercepción de los flujos de ladera. Una posibilidad es la construcción sobre viaductos –calzada no apoyada directamente sobre el terreno– o la recomendación

Estudio de casos



Figura 54. Distintos efectos de las características de una vía de transporte sobre la conectividad territorial. En las fotografías se observan efectos muy débiles. En el viaducto de arriba el efecto podría ser evaluado por su incidencia en el paisaje, que nunca está exento de subjetividad. El túnel representa un efecto mínimo en la conectividad si no interfiere fenómenos hidrogeológicos importantes. Un túnel puede salvar el efecto de rotura de la conectividad en un espacio considerado valioso, por ejemplo, un bosque maduro, siempre que las bocas de entrada y salida se encuentren convenientemente lejos de los límites de ese espacio.

general del presente estudio de disponer un *bypass* laminar para el flujo (Figs. 52, 54), algo no necesariamente aplicable en caminos y vías pecuarias salvo situaciones particulares evidentes¹¹. En nueva construcción se recomienda acondicionar los tramos de otras vías ya construidas, dotándolos de mejoras en las características del firme, adecuando la calzada a los nuevos niveles de tráfico, así como desarrollando técnicas eficientes en el transporte que eviten impactos sinérgicos y acumulativos en otras zonas. Se recomienda, en su caso, usar firmes porosos y balsas de decantación para recoger lixiviados de la vía.

¹¹ La construcción de una pista forestal en la ladera de orientación Sur del Valle de Lozoya (Madrid) originó un sensible drenaje ladera arriba y la práctica desaparición de una especie de retama (*Genista florida*) del sotobosque. Esta planta aporta materia orgánica rica en bases a un suelo pobre en ellas y favorece la producción de madera en los pinares de la zona. El drenaje condujo el agua de escorrentía originando descargas subterráneas en una urbanización situada a pie de ladera, a una distancia muy considerable de la zona «afectada» por la pista.



Figura 55. Trazado y características propias de una carretera de montaña, en la que pueden converger todo tipo de interferencias en la conectividad espacial.

Respecto a la precipitación anual, los lugares con mayor precipitación, y consiguiente desarrollo vegetal y del suelo, precisan un sistema óptimo de drenaje adecuado del firme. Se propone también incorporar un sistema de eliminación de lixiviados de la vía previo a su vertido ladera abajo y a los cauces naturales.

En cuanto a la precipitación estival, los mayores valores de impacto se dan en lugares con precipitaciones estivales puntuales, con efectos sobre un suelo desnudo, sin cobertura vegetal herbácea en ese momento del año capaz de retener la escorrentía con la eficacia del invierno tardío o primavera. Una cantidad pequeña de lluvia, que en la zona tiende a coincidir con tormentas estivales puntuales, puede erosionar sensiblemente el suelo. Una calzada de notable anchura agrava la situación. Se proponen medidas encaminadas a evitar el acarcavamiento, usar firmes con materiales permeables, drenajes subterráneos y separación de calzadas, entre otras medidas que permitan disminuir la concentración de flujos hídricos superficiales sobre la vía y arroyada sobre bermas y cunetas.

La arroyada supone un coste ambiental importante por la pérdida de suelo que representa. La construcción de balsas de decantación asociadas a cunetas y muros permeables en el costado de la vía que recibe la avalancha puede servir para recuperar materiales finos y restaurar laderas con pequeñas cárcavas, recuperándose parcialmente las posibilidades de infiltración, crecimiento vegetal y desarrollo edáfico ladera arriba.

En relación con la precipitación primaveral, los lugares con valores elevados de esta precipitación son equivalentes en la zona a los de alta pluviosidad anual. El impacto de

la anchura de vía es alto, el agua de lluvia sobre el asfalto entorpece la infiltración. Las directrices para paliar el impacto son equivalentes a las del caso descrito más arriba.

En relación con la evapotranspiración, cuando ésta es muy elevada, como ocurre en algunas comarcas contempladas, el suelo tiene menos capacidad de desarrollo de materia orgánica y los efectos erosivos son equivalentes a los de las lluvias estivales. Pueden incorporarse medidas que suavicen alteraciones microclimáticas, mediante pantallas vegetales a ambos lados de las vías.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* Para la anchura de la calzada, como para otras características relacionadas con la capacidad de transporte de la vía –cerramiento, radio de curvatura, índice medio diario de tráfico– se ha estimado un coste notable en la conectividad. La solución técnica es previa al establecimiento del trazado, evitándose que la vía atravesase el terreno siguiendo una frontera neta entre unidades de vegetación que generen una notable tensión energética^(88,105). El efecto es grave, o muy grave, en las vías de mayor rango y comparativamente nulo en los caminos. Las medidas de aminoración del impacto se centran en considerar el trasiego de la fauna.
- *Afección a la movilidad de la fauna.* La anchura de la franja construida agrava el efecto barrera y aumenta la mortandad de aves por atropello por vehículos que circulan rápidamente⁽⁴⁾. La anchura de la calzada y por tanto el tiempo que tardan los animales en superar la barrera, aumenta su probabilidad de ser atropellados, siendo patente en anfibios y reptiles⁽¹⁵²⁾. Debe evitarse que la vía se convierta en un «sumidero de fauna» (especies carroñera que se alimentan de cadáveres ya atropellados en la vía, aves que se nutren de semillas de las plantas de las medianas, concentración de reptiles e insectos en ciertos momentos por el calor del asfalto y la grava). Importa hacer un estudio previo al proyecto de obra sobre la fauna del área, delimitándose zonas migratorias, de paso para la alimentación, reproducción o refugio. Si el impacto es previsiblemente patente deben crearse en los lugares idóneos pasos adaptados a las características de cada especie y hábitat (subterráneos para anfibios, «biopuentes» para ungulados, elementos colgantes para especies de hábitat arbóreos^(85,152,235,236)).

b) Cerramientos

- *Afección a los componentes físicos de la conectividad.* Se concluye que no hay afección importante de los cerramientos o vallados (mallas metálicas) a los componentes físicos de la conectividad, esencialmente los ligados al flujo de agua. Esto es aplicable a los tres tipos de vías analizados. Los cerramientos son propios de las vías rápidas y no afectan a los procesos físicos ligados al ciclo del agua. En caminos y vías pecuarias no es aplicable el descriptor.
- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* El cerramiento tiene un coste ambiental evidente sobre las fronteras asimétricas como componentes de la conectividad. Como se ha comentado al referir el efecto de la anchura de la calzada, evitar la interferencia entra en los objetivos de la planificación previa del trazado, disponiéndose de medidas que eviten interferencias en la movilidad de la fauna a través de fronteras, con diseño de barreras verdes que minimicen efectos perturbadores del transporte viario. En el caso de caminos y vías pecuarias no hay efecto aplicable.
- *Afección a la movilidad de la fauna.* Es probablemente la más evidente de las afecciones del cerramiento para numerosas especies animales. En las zonas detectadas

como críticas en los mapas de impacto se proponen vallados con pasos adecuados para la fauna, barreras elevadas –al menos 4 m de altura que reduzcan el número de aves atropelladas^(4,85,152,235,236)–, dispositivos de escape para animales atrapados en la vía, colectores que guíen al animal hasta las zonas de paso, barreras perimetrales que impidan el acceso a la calzada de ciertas especies (reptiles, anfibios y pequeños mamíferos), de unos 40 cm de altura desprovistas de vegetación o accesos que faciliten trepar a los animales.

c) *Desmontes*

- *Afección a los componentes físicos de la conectividad.* Las regresiones calculadas para *autopistas* y *autovías* por los taludes indican como afecciones de los taludes o terraplenes más relevantes a la conectividad las debidas a la pendiente de las laderas, a la precipitación primaveral y estival, a la infiltración, a la intercepción de la lluvia por la vegetación y la precipitación anual de los lugares afectados por la vía.

Las mismas interferencias, sin destacar la intercepción de la vegetación, se detectan en *carreteras* y *vías rápidas*, aunque en distinto orden de importancia, añadiéndose también efectos serios de drenaje por taludes en comarcas de mayor desarrollo de la vegetación (alta precipitación anual).

En *caminos* y *vías pecuarias* el comportamiento es parecido, destacando la evapotranspiración de las comarcas atravesadas por estas vías.

El valor de la conectividad asociado a la pendiente del terreno –la ralentización del flujo– refleja el mayor impacto de los taludes y lleva a contemplar soluciones del tipo *bypass* laminar que se presente en este libro. Teniendo en cuenta el carácter climático de los lugares atravesados por la vía, se recomiendan paredes impermeables en la contención de posibles deslizamientos si el sustrato es permeable y paredes impermeables en la cara exterior del *bypass* si no lo es, lámina con grava y limo que proporcionen igual permeabilidad que el suelo atravesado desde estas paredes hasta el lado opuesto de la vía, que podrá, en su caso, tener un terraplén. Para contener los procesos erosivos asociados a pendientes mayores y lugares con precipitaciones estivales puntuales debe diseñarse el desmonte mediante la reducción en altura del talud, que permita suavizar pendientes «cuasinatursales». Algunos autores los recomiendan del mismo orden que la anchura de la vía (para plataformas de 15 m taludes no superiores a 10 m). Debe tenerse en cuenta el tratamiento de pendientes y formas del talud, en función de detalles de las pendientes naturales locales, estratigrafía, litología y estabilidad.

Los taludes tienen un impacto parcial notable sobre la infiltración edáfica como componente de la conectividad. Las medidas para paliarlo deben contemplar un modelado que evite la ruptura de los planos de escurrimiento, el decapado del suelo sólo el tiempo mínimo imprescindible durante la construcción, en su caso con recubrimiento con geotextiles, «tierra vegetal» o construcción de «muros verdes». Se sugiere implantar un sistema de drenaje subterráneo laminar-sifón que mantenga los flujos naturales.

Los taludes tienen un notable impacto sobre la circulación subsuperficial del agua en las laderas condicionada por la intercepción vegetal como componente de la conectividad. Las soluciones técnicas planteadas deben considerar el transplante de ejemplares vegetales de características descritas en el anejo ambiental de la obra, la implantación de geomallas que eviten la pérdida de suelo y permitan la recolonización

por la vegetación. Durante la construcción del talud deben crearse condiciones idóneas de humedad y suelo para la recolonización espontánea o inducida.

Las medidas para paliar los efectos del talud deben dirigirse al modelado de éste de forma que evite la ruptura de los planos de escurrimiento, el decapado del suelo sólo el tiempo mínimo imprescindible y el posterior recubrimiento con geotextiles, con tierra vegetal o construcción de muros verdes.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* Los taludes tienen un impacto parcial notable sobre las fronteras asimétricas como componente de la conectividad, aunque menos patente que otras características de las vías de transporte contempladas, como cerramientos y otras características propias de la velocidad permitida por la vía. Junto a las consideraciones ya apuntadas para las fases de planificación del trazado, se proponen plantaciones de composición vegetal y textura equivalentes a las unidades de vegetación del entorno y pasos de fauna adecuados a la composición de las comunidades animales y hábitat afectados por el talud.
- *Afección a la movilidad de la fauna.* No se ha encontrado como destacable, en comparación con otras características de las infraestructuras estudiadas, para las características de movilidad de la fauna consideradas (aunque el modelo no lo detecta, sin duda constituyen una excepción los taludes con pendientes muy altas). Los costes ambientales estimados se refieren a la limitación de movimiento de anfibios⁽¹⁵²⁾. Al respecto, pueden llevarse a cabo diseños para evitar el paso de fauna por zonas no habilitadas, dirigiendo el trasiego animal a zonas de paso especialmente construidas.

d) Terraplenes

- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* La conectividad rota por afección de la infiltración edáfica, de la intercepción de la lluvia por la vegetación y por acentuar la arroyada de laderas en las comarcas con lluvias puntuales de verano son las consecuencias más notables estimadas para los terraplenes de *autopistas* y *autovías* (Apéndice 10). Es un resultado análogo al obtenido para *carreteras* y *vías rápidas* y, con menor severidad, para *caminos* y *vías pecuarias*.

Las medidas más eficaces estarían relacionadas con la permeabilización del firme de las vías (asfaltos porosos) y facilitación de la infiltración en el terraplén, sujetándolo en la cara exterior de la vía con un muro impermeable (suponiendo resuelto el problema del talud, si lo hubiera y usando geomallas y «muros verdes» que permiten una menor compactación de horizontes superficiales edáficos. La rotura de la intercepción de la lluvia por la vegetación (desaparecida en el terraplén) se palia con sustratos porosos y geomallas en las porciones del terraplén no cubiertas por la propia vía e instalación de ménsulas. En carreteras y vías rápidas deben usarse modelados de terraplenes que minimicen su erosionabilidad, instalación de bordillos y revegetación.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* Los terraplenes tienen un impacto parcial notable sobre las fronteras asimétricas como componente de la conectividad. Estructuralmente es equivalente al del talud, con el agravante de que entre éste y aquél se encuentra la calzada transitada. Evitar los terraplenes en fronteras de alta tensión energética (monte-pasto) es lo recomendable para evitar la ruptura de los flujos asociados a fronteras. El empleo de pasos de fauna es, en todo caso, obligado en la afección de fronteras por terraplenes.

- *Afección de la movilidad de la fauna.* No se ha estimado relevante para la movilidad en sí misma, en comparación con otros componentes de la conectividad, aunque la afección está contemplada para las fronteras asimétricas, que implican trasiegos animales. Las mismas recomendaciones anteriores son aplicables en este caso (trasiego a través de fronteras interrumpido por terraplenes).

e) *Velocidad de circulación y radios de curvatura*

- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* Las dos características están correlacionadas para la mayoría de los componentes de la conectividad. En *autopistas y autovías* las características asociadas a la velocidad de circulación de las vías afectan de forma relevante a las comarcas con riesgos de erosión por precipitaciones estivales y con mayor desarrollo de la vegetación asociado a la pluviosidad anual. Igual ocurre con los riesgos de erosión acentuados por los dos restantes tipos viarios analizados, aunque en estos casos es la pendiente del terreno el indicador de afección a la conectividad.

Los impactos estimados para estos tipos no son relevantes, por valorarse relativamente otras características de las vías. Evitar pendientes acusadas en las vías que cruzan terrenos con pendientes suaves, asociadas a flujos lentos de ladera entra en conflicto con el mantenimiento de estos flujos: una pendiente elevada evita un trazado en zigzag, que representa la múltiple rotura del flujo de ladera. La solución del *bypass* ya aludida puede ser, nuevamente, la directriz recomendada, junto con las soluciones ya apuntadas para evitar la arroyada en comarcas con tormentas estivales frecuentes.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* La interferencia es patente en autopistas y autovías y en carreteras y vías rápidas, y prácticamente nula en caminos y vías pecuarias. La afección tiene lugar en espacios abiertos y fondos de valle, donde la velocidad de circulación y radios de curvatura de las vías son mayores. Es recomendable evitar esta circunstancia al planificar el trazado por estos espacios en presencia de contrastes monte-pasto o monte-cultivo si las extensiones de uno y otro tiene cierta entidad, así como separar el trazado en de manchas remanentes de bosques. En caminos y vías pecuarias no se detectan problemas de afección a la conectividad por esta característica (por otra parte no aplicable).
- *Afección de la movilidad de la fauna.* Se encuentra un efecto contrario entre el trazado de vías rápidas con curvas amplias y vías más lentas con curvas cerradas. Por diferente motivo afectan a la fauna. Las primeras generan un tipo de atropello de diferente origen que las segundas –hay una notable mortalidad de aves en curvas cerradas, cambios de rasantes y vegetación circundante cerrada–. Junto a las recomendaciones anteriores hechas ya para diferentes características de las vías de transporte, la señalización inteligente con información rápida a viajeros constituye una medida aplicable sin inversiones importantes^(4,152-154).

f) *Cunetas*

- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* Junto con los taludes las cunetas constituyen una de las afecciones más claras a la conectividad física, aunque de entidad mucho menor que éstos. En las regresiones calculadas para *autopistas y autovías* aparecen afectando relativamente a comarcas con los componentes más notables de la conectividad física: precipitación primaveral, circulación subsuperficial ligada a la ti-

pología de las pendientes, intercepción hídrica por el dosel vegetal, desarrollo vegetal (precipitación anual) e infiltración.

En *carreteras* y *vías rápidas* los resultados son semejantes, destacándose menos la afección ligada a la infiltración. En *caminos no asfaltados* y *vías pecuarias* las cunetas tienen menor entidad relativa, y afectan relativamente a la conectividad ligada a la arroyada y pendiente de las laderas interceptas.

En las situaciones afectadas debe disponerse de cunetas parcialmente permeables con bordillo, ligadas a *bypass* laminar, junto con puntos de recogida de agua dimensionados convenientemente y trampas de sedimento para recuperar materiales finos que pueden reutilizarse en revegetación de laderas con cárcavas incipientes.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas*. Su escasa entidad no merece gran atención en comparación con otras características de las vías de transporte mucho más impactantes en este componente de la conectividad biológica.
- *Afección a la movilidad de la fauna*. Como en el caso anterior, tampoco se ha estimado relevante. No obstante, el acúmulo de humedad en las cunetas representa un determinante en la movilidad de ciertos animales. Por un lado pueden limitar el movimiento de anfibios y, por otro constituyen un nicho temporal. Son recomendables rampas de escape cada cierta distancia dirigidas hacia el espacio sin vía.

g) *Préstamos*

- *Afección a componentes físicos de la conectividad*. Las regresiones calculadas para *autopistas* y *autovías* destacan daños relativamente mayores en los componentes de la conectividad asociados a características mesoclimáticas (precipitación primaveral, estival y anual y evapotranspiración). Aunque con severidad mucho menor son los parámetros que reflejan los daños a la conectividad por *caminos* y *vías pecuarias*.

Algo parecido ocurre en *carreteras* y *vías rápidas*, que incluye la infiltración en lugar de la evapotranspiración. Los préstamos son afecciones puntuales que pueden concentrar hacia ellos el drenaje como el cono de absorción de un pozo, de manera que la afección se prolonga en superficies que pueden ser amplias. La orientación de solana, frente a la de umbría, representa un aumento del flujo hídrico hacia el préstamo. La selección del emplazamiento debe hacerse teniendo en cuenta estas consideraciones y, una vez decidido, disponerse muros de suelo reforzados con geomallas.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas*. No se consideran costes especialmente relevantes.
- *Afección a la movilidad de la fauna*. Como en el caso anterior, tampoco se consideran costes muy relevantes, debiéndose dirigir la atención hacia otras características de mayor impacto en la conectividad.

h) *Caballeros*

- *Afección a componentes físicos de la conectividad*. Para todas las vías de transporte se encuentran daños relativos a la conectividad afectada por la infiltración en el sustrato (sepultado por el acúmulo de material) y acarcavamiento propio de comarcas con tormentas estivales.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* No se detectan costes especialmente relevantes.
 - *Afección a la movilidad de la fauna.* No se consideran costes especialmente relevantes.
- i) *Bermas y vías de servicio*
- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* Al contrario que las características anteriores, las bermas y vías de servicio constituyen estructuras lineales que entorpecen en su medida la conectividad. Las medidas recomendadas para las vías de mayor rango antes comentadas son aplicables al caso de estas dos características, aunque la inversión pueda ser comparativamente mucho menor. Los componentes de la conectividad física debidos a la precipitación primaveral, estival y anual son los afectados relativamente en mayor medida en los tres tipos de estructuras viarias analizadas y, de acuerdo con ellos, las medidas ya apuntadas en relación con estos componentes.
 - *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* El impacto producido es notable, aunque de menor severidad que el ocasionado por las autopistas y vías rápidas a las que pertenecen estas dos estructuras. En el caso de carreteras y caminos estas estructuras no existen. Junto a las medidas apuntadas para autopistas y autovías y para vías rápidas y carreteras, las bermas y vías de servicio ofrecen cierta flexibilidad en el diseño de su anchura, disminuyéndola en zonas de fronteras (algunos autores señalan que los pasos de fauna, asociados a los mismos puntos donde se hayan construidos los propios de las carreteras, permiten también mayor flexibilidad de diseño en estas estructuras).
 - *Afección a la movilidad de la fauna.* No son destacables nuevas afecciones y recomendaciones sobre las mismas que no hayan sido contempladas ya en las vías de mayor rango a las que pertenecen estas estructuras.
- j) *Intensidad de tráfico*
- *Afección a componentes físicos de la conectividad.* Las ecuaciones de regresión que muestran el impacto ambiental de esta característica de las *autopistas y vías rápidas* indican como afecciones más relevantes a la conectividad las debidas a dos características climáticas de las comarcas afectadas: la evapotranspiración y la temperatura media estival; ambas reflejan con sus valores elevados el carácter climático árido o semiárido de buena parte del territorio considerado. En el caso de *carreteras y vías rápidas* se suma la temperatura invernal y en la afección, relativamente menor, de los *caminos y vías pecuarias* intervienen, junto a la temperatura estival e invernal de las comarcas afectadas la infiltración edáfica y la precipitación anual.

Cabe relacionar la intensidad de tráfico y las variables comentadas respecto al riesgo de incendios, que no se aparta del problema de afección a la conectividad por dañar a la vegetación y su capacidad de intercepción de la lluvia y al suelo, del que depende la capacidad de ralentizar los flujos hídricos en laderas. Afrontar medidas y recomendaciones sobre el fuego escapa a las consideraciones del presente estudio, pero pone de relieve la interacción entre unos fenómenos y otros. Este riesgo es probablemente mayor en carreteras, vías rápidas y caminos que en autopistas, por la diferente capacidad de acceso a campo abierto que ofrecen unas y otras vías. La señalización abundante del peligro de incendio, cuando las condiciones climáticas propicias para ello y el tipo de vegetación proclive al fuego coinciden, es una medida que debe asociarse al

uso de las vías de transporte por los viajeros. La afección de la intensidad de tráfico a la conectividad en comarcas afectadas por caminos no asfaltados tiene que ver con la contaminación por tráfico de distintas formas. Las medidas para paliar el problema entran dentro de consideraciones de educación ambiental que deben recogerse en señalizaciones apropiadas.

- *Afección a fronteras ecológicas asimétricas.* Las incidencias se han estimado entre las más importantes. Se considera necesario disponer de planes de movilidad actualizados por la administración del transporte y educación sobre conducción eficiente. La regulación del tráfico de vehículos a motor por las vías pecuarias es necesaria, como la promoción de su interés turístico-cultural y traslado peatonal.
- *Afección a la movilidad de la fauna.* Las incidencias se han estimado con valores medios⁽¹⁵¹⁻¹⁵⁴⁾. Son aplicables medidas como las ya comentadas. Se considera urgente desarrollar un catálogo permanente de «puntos negros» de atropellos de fauna e incorporarlo como referencia para planes de movilidad y conducción responsable.

3.8. Estudios de casos de conectividad vertical: estructura del paisaje, relación con características socioeconómicas y valoración paisajística de los usuarios

El primero de los casos presentados es un análisis del tipo indicado en la Figura 1b₁, centrado en la dependencia vertical «paisaje cultural-socioeconomía». Pretende aportar resultados válidos y aplicables a políticas de conservación del paisaje no centradas sólo en los límites de ENP y previendo además escenarios de cambio socioeconómico. Este cambio es un fenómeno muy dinámico en la actualidad que se refleja en el paisaje y que invita a apartarse de una perspectiva estática en la idea de conservación de la naturaleza. El estudio se ha hecho en un territorio piloto de la provincia de Almería⁽⁵⁴⁾.

Otros dos estudios de casos pertenecen al tipo a₁ (Fig. 1) considerando un ejemplo oportuno de relación «oferta» del paisaje como recurso y «demanda» del mismo por visitantes (turistas) dentro y fuera de ENP. Se focaliza, por un lado, un territorio del centro de España, la Comunidad de Madrid, que actualmente considera la declaración de un Parque Nacional y, por otro, un territorio del NE peninsular, el área Els Ports-Maestrat, con una diferente presión que el anterior en relación con la demanda de visitantes^(53,246).

3.8.1. Relación entre la estructura del paisaje y la socioeconómica

El paisaje cultural rural de base tradicional ha experimentado cambios notables en las últimas décadas. Su conservación es una tarea difícil debido a que, por un lado, el abandono rural, y por otro, la intensificación agraria, están generando un nuevo tipo de paisaje aparentemente menos atractivo que el tradicional. La base del funcionamiento del paisaje está, además, alterada por las tensiones ocasionadas por la interferencia creciente entre una red de transportes humana cada vez más tupida y la red socioecológica. Esto es particularmente patente en la Cuenca Mediterránea, donde el paisaje depende del mantenimiento de los usos tradicionales agrícolas y actividades asociadas, ambos dependientes de condiciones ecológicas y avatares socioeconómicos. Estos últimos son considerados, cada vez más, como los verdaderos causantes de los cambios. Modificaciones en la estructura social afectan y alteran el me-

dio rural, de modo que la información ecológica y la socioeconómica deben ser integradas en la ordenación del territorio y su gestión.

Pueden desarrollarse análisis numéricos que relacionen la estructura territorial con la socioeconómica, llevándose a cabo la separación entre ambas con cierta inevitable artificialidad. Con la referencia de esta relación pueden predecirse los tipos de paisaje que serían generados ante diferentes escenarios de cambio socioeconómico, por ejemplo, los relacionados con el abandono rural o la promoción de nuevas formas de agricultura.

La motivación está en que los paisajes agrícolas europeos sufren cambios notables paralelos a una evolución social rápida e intensa⁽¹⁹⁰⁾. El desarrollo económico actual transcurre junto a la intensificación agrícola, a la pérdida de pastos, de tierras de cultivo y de biodiversidad^(78,82,129,149,157). Estos procesos son particularmente evidentes en la Cuenca Mediterránea, donde antes de la reforma territorial de 1992, las políticas agrícolas de la UE reforzaron tales tendencias, interpretadas por muchos autores como daños ambientales^(11,21,243); en España, donde la agricultura ya apenas representa hoy el 3% del PIB, puede considerarse que la situación ha tenido un gran impacto sobre el ambiente rural. El mantenimiento y desarrollo de estos modelos agrícolas tradicionales se ha basado en la transmisión de información de una generación a otra, y las poblaciones locales han aplicado durante mucho tiempo estas prácticas culturales, promoviendo así un uso de los recursos considerado «sostenible»^(92,147). La despoblación rural, en cambio, genera pérdidas culturales, económicas y ecológicas –erosión, destrucción de hábitat, pérdida de biodiversidad, aumento de incendios forestales, contaminación agrícola difusa, deterioro general del paisaje cultural milenario, etc.^(12,80)–. El paisaje cultural cambia porque la población que lo creó y mantuvo históricamente está modificando su sistema socioeconómico, de manera que las estructuras territorial y socioeconómica mantienen una interacción constante y recíproca –*co-evolving systems*^(140,191,273)–. Los procesos socioeconómicos son realmente la causa principal de los cambios de usos del suelo, que determinan fuertemente la estructura, funcionamiento, función y dinámica de estos paisajes.

Hay, sin embargo, una falta de definiciones coherentes y medidas cuantificables sobre el papel desempeñado por los humanos en la modificación de los agrosistemas⁽²⁷⁰⁾, así que la modelización y simulación de los efectos humanos en el paisaje es muy interesante para la investigación en ecología^(83,247) y permite integrar datos y modelos de las ciencias biofísicas y las sociales^(242,284). Además, urge el compromiso de integrar la información «ecológica» y la «socioeconómica» para su uso en la planificación y la gestión territorial^(44,140). Dependiendo del territorio considerado, la relación entre estos tipos de información puede ser más o menos intensa, pero debe formalizarse para comprender los ecosistemas^(21,183). En el estudio de caso traído al presente libro se analiza, pues, la relación entre la estructura del paisaje y la socioeconomía aplicando modelos numéricos que relacionan aspectos ecológicos, económicos y socio-culturales, capaces de predecir tipos de paisaje basados en escenarios de cambio socioeconómico. Los resultados contribuyen a establecer posibles consecuencias sobre la naturaleza de escenarios de cambio simulado.

Se ha trabajado en el sureste semiárido de la Península Ibérica (Fig. 56a), identificado como un *hotspot* del abandono de tierras agrícolas en Europa y concretamente en España^(177,281,283). Es un territorio heterogéneo con contrastes medioambientales evidentes, con paisajes dependientes de un amplio gradiente ambiental y condiciones de aridez acusada. La rareza del paisaje natural en algunas zonas son una singularidad en el contexto europeo, como el desierto de Tabernas o las montañas de Sierra Nevada. El territorio delimitado para el es-

Estudio de casos

tudio tiene unos 2.000 km² y comprende una treintena municipios, principalmente con núcleos urbanos pequeños y actualmente muy despoblados. Hay evidencias claras de abandono agrícola tradicional y de la rápida evolución hacia nuevas formas de usos del suelo, aunque conserva una notable variedad de usos agrícolas, principalmente con especies leñosas (por ejemplo, olivos, almendros, viñas en bancales, cítricos, etc.), junto con usos forestales. El análisis de la relación buscada requiere el uso de descriptores territoriales y socioeconómicos que sirvan como indicadores de cambios en las dos estructuras^(8,290), así que se aplicó un procedimiento ensayado en un estudio previo⁽²⁴⁷⁾ que formaliza la correspondencia canónica entre las estructuras, caracteriza su interdependencia y permite predecir la tipología de paisajes resultantes de la simulación de los posibles cambios económicos (Fig. 56b).

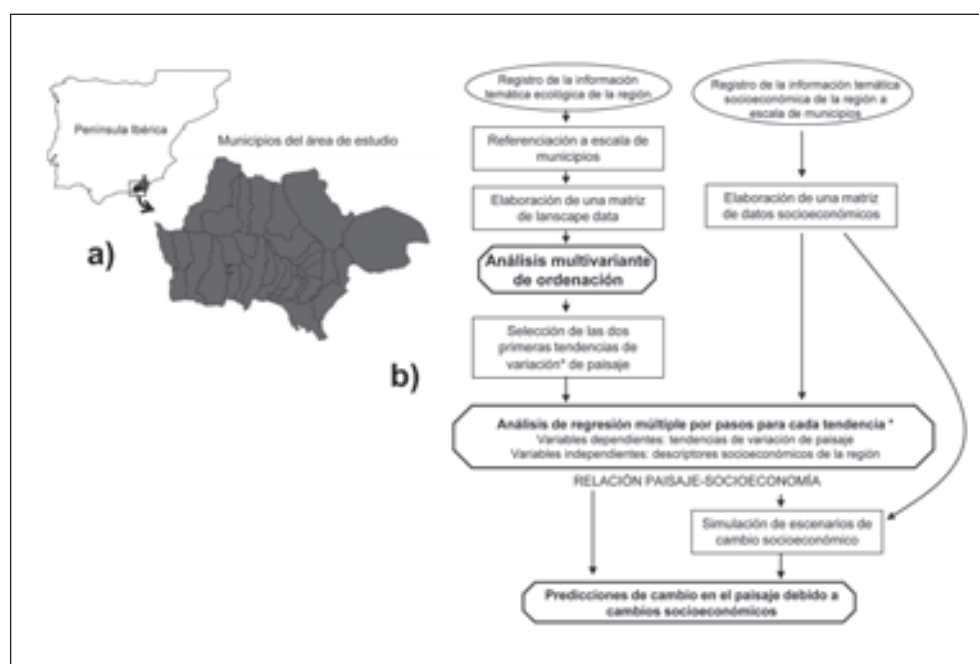


Figura 56. a) Ubicación geográfica del estudio llevado a cabo sobre la relación «vertical» entre la estructura del paisaje rural cultural y la socioeconómica. b) Desarrollo del modelo ensayado de relación paisaje-socioeconomía.

En el estudio se utilizaron variables que caracterizan el paisaje rural adoptándose sobre éste una perspectiva cartesiana. Tales variables están relacionadas con la gestión rural y se identificaron como diferentes tipos de bosques, cultivos y pastizales de distintas clases, reforestaciones, matorrales, regadíos en valles, etc. Los municipios se consideraron como unidades de análisis u observaciones, por encontrarse registrada con referencia a ellos la información socioeconómica que sería relacionada con aquellas variables. Se elaboró así una matriz de datos cuantitativos de 22 variables de paisaje x 32 municipios. Previamente se transformaron los datos como $\log(x+1)$, representando x la superficie ocupada por cada variable descriptiva del paisaje en cada municipio. Luego se realizó un análisis de ordenación de esa matriz, que permitió representar los municipios en un plano cuyas dimensiones (ejes de or-

denación) representaban las principales tendencias de variación del paisaje obtenidas mediante este análisis.

Los tipos de paisajes del área se identificaron segmentando los dos primeros ejes del análisis en varios intervalos iguales, según las coordenadas de los municipios representados en el plano. Se asignaron los municipios a los diferentes tipos de paisaje identificados en este plano, de acuerdo con su proximidad al centro de cada grupo (distancias de Mahalanobis, MD_{ij}),

$$MD_{ij} = (x_i - x_j)' V_w^{-1} (x_i - x_j) \quad [1]$$

donde x_i y x_j son vectores que representan dos puntos en el espacio p -dimensional y V_w representa la matriz de covarianza entre grupos. En el plano, cada una de las dos dimensiones calculadas constituye una forma de describir la variación espacial del paisaje del área estudiada, de acuerdo con las variables de mayor peso ofrecidas por el análisis —las mejores descriptores de esas dimensiones—.

Para formalizar la relación entre la estructura del paisaje rural y la socioeconómica se utilizaron las coordenadas de los municipios en las dos dimensiones del plano comentado. Estas dimensiones fueron consideradas como variables dependientes para el cálculo de sendas ecuaciones de regresión múltiple donde las variables independientes fueron los 27 descriptores socioeconómicos de los municipios (Tabla 4).

Las regresiones son funciones polinómicas de grado creciente, eligiéndose las de mejor ajuste. En todos los casos, sin embargo, los residuos obtenidos indicaron que el mejor ajuste era la relación lineal. Se utilizó el test de Durbin-Watson para verificar la variación aleatoria de los residuos.

Se dispone pues una ecuación de regresión para cada eje del plano de ordenación. Cada una de ellas permite establecer el número óptimo de variables socioeconómicas que caracterizan la variación del paisaje en el conjunto de estos municipios. Para cada uno de los ejes calculados, el modelo de ajuste entre las variables sigue la expresión general:

$$y_i = a + bs_1 + cs_2 + ds_3 + \dots + ms_m \quad [2]$$

donde y_i representa la tendencia de variación del paisaje registrado a través del conjunto de municipios considerado, a el intercepto de la ecuación calculada, s_i las variables socioeconómicas seleccionadas por el análisis por su mayor importancia y b, c, d, \dots, m sus coeficientes de regresión ($m < 27$).

Con el número limitado de variables socioeconómicas de las regresiones obtenidas puede formalizarse la relación entre socioeconomía y paisaje explicándose gran parte de la variación de éste. Pueden considerarse diferentes escenarios de cambio socioeconómico simulando la variación de algunos indicadores socioeconómicos. Las hipótesis de variación implican la modificación de algunos de los principales descriptores de la situación socioeconómica de partida, de manera que, dentro de umbrales de variación razonables, pueden simularse estos cambios teniendo en cuenta los límites de predicción de los modelos de ajuste y un cierto realismo en la posible tendencia de cambio socioeconómico (valores máximo y mínimo que inicialmente tengan las variables descriptores del paisaje en los municipios). Los escenarios considerados no constituyen pronósticos o predicciones del futuro, dado que no incluyen un estudio de las diferentes trayectorias de cambio socioeconómico. Sí constituyen una

*Estudio de casos***Tabla 4.** Variables socioeconómicas consideradas relevantes para caracterizar los municipios. Se expresaron en relación a la superficie de cada municipio.

Variabes socioeconómicas	Unidades de medida
Población de derecho	Número de habitantes totales
Crecimiento vegetativo	Número de personas, de acuerdo con diferencia entre nacimientos y fallecimientos
Ocupación en actividades agrícolas y pesca	Población ocupada (actividad laboral principal)
Ocupación en industria extractiva	Población ocupada (1)
Ocupación en industria de manufacturas	Población ocupada (1)
Ocupación en industria de construcción	Población ocupada (1)
Ocupación en comercio y hostelería	Población ocupada (1)
Ocupación en servicios	Población ocupada (1)
Automóviles y motos	Número de vehículos y número de motocicletas
Camiones y furgonetas	Número de vehículos, incluyendo, caravanas, grúas, ambulancias, camionetas y todo terrenos, etc.
Autobuses	Número de vehículos destinados al transporte de viajeros –capacidad mínima de 10 plazas–
Maquinaria agrícola	Número de máquinas por explotación agraria
Campings	Número de establecimientos –campamentos turísticos–
Hoteles y pensiones	Número de establecimientos
Cafeterías y restaurantes	Número de establecimientos
Número de plazas de campings	Número de plazas
Número de plazas de hoteles y pensiones	Número de plazas
Número de plazas de cafeterías y restaurantes	Número de plazas
Unidades ganaderas de bovinos	Unidades de equivalencia
Unidades ganaderas de ovinos	Unidades de equivalencia
Unidades ganaderas de caprinos	Unidades de equivalencia
Unidades ganaderas de porcinos	Unidades de equivalencia
Unidades ganaderas de aves y de conejas	Unidades de equivalencia
Unidades ganaderas de equinos	Unidades de equivalencia
Emigración media	Número de emigrantes
Inmigración media	Número de inmigrantes
Analfabetos y sin estudios	Número de habitantes
Nivel de instrucción primario	Número de habitantes
Nivel de instrucción secundario	Número de habitantes
Nivel de instrucción universitario	Número de habitantes
Inversión en agricultura	Decenas de euros
Inversión en construcción	Decenas de euros
Inversión en industria	Decenas de euros
Inversión en servicios	Decenas de euros

prueba consistente que apoya la idea de cambios socioeconómicos posibles basados en las tendencias reales actuales en el SE de la Península Ibérica^(17,42,97).

Se simularon y contrastaron, pues, dos hipótesis de cambio de usos del suelo en la zona que coinciden con los grandes cambios que han tenido lugar durante las últimas décadas en las zonas rurales europeas –despoblación, abandono rural, cambios en la agricultura y desarrollo industrial^(247,290)–, considerándose las variables socioeconómicas con mayor peso en las regresiones. La simulación proporciona vectores que resultan de esas hipótesis, cuyos elementos son las coordenadas de los municipios en los ejes que describen la nueva estructura del paisaje.

La Figura 57 muestra la distribución de los municipios en el plano definido por la ordenación. La primera dimensión muestra, de izquierda a derecha, la perspectiva de un gradiente de variación de tipos de paisajes silvopastorales, desde áreas con pastos y matorral xérico a zonas con monte mediterráneo, con encinas y plantaciones de pinos. La segunda dimensión muestra otra perspectiva de variación, expresada, de abajo hacia arriba en la figura, en paisa-

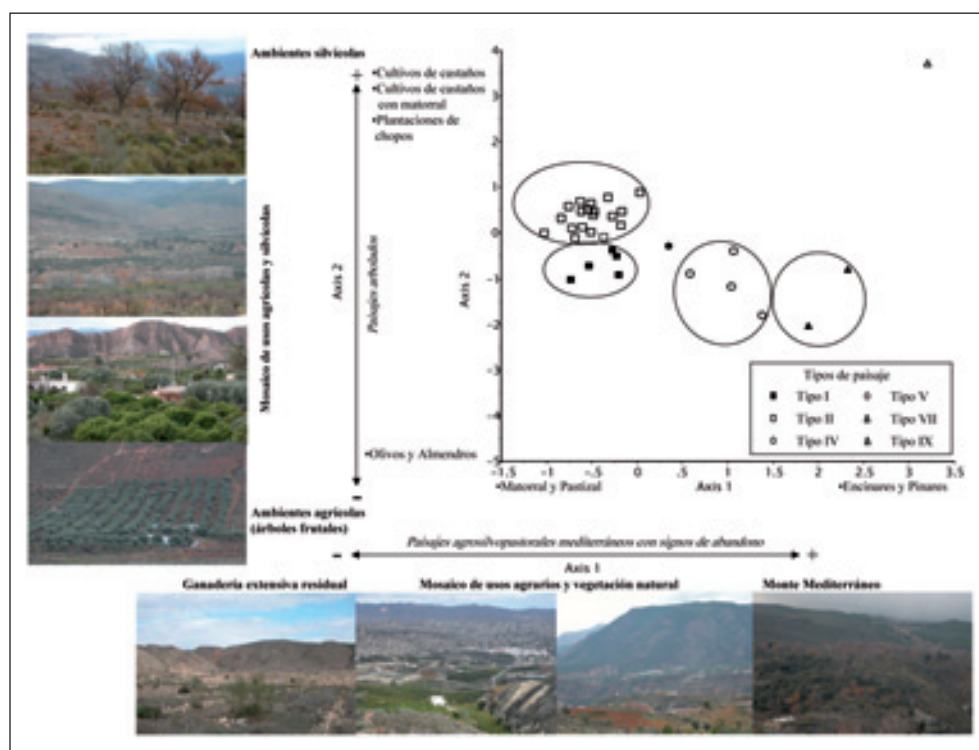


Figura 57. Estructura del paisaje rural cultural en un territorio del SE español. El plano de ordenación definido por un análisis multivariante ofrece las variables de los tipos de paisaje que identifican las principales tendencias de este territorio (Tabla 5). Se muestran a) plantaciones de castaños; b) mosaico de plantaciones de álamos, cereales, olivos y almendros; c) mosaico de cultivos de olivos y cítricos; d) olivos y almendros; e) pastizales abandonados; f) valles con plantaciones de cítricos y vides inmersas en una extensa matriz de pastizal-matorral; g) valles con almendros, vides y olivos, en una matriz de formaciones arbóreas y h) monte mediterráneo de encinas y pinos silvestres.

Tabla 5. Tipología de paisajes potenciales de una zona del SE español (ver Fig. 57). Los tipos se obtuvieron a partir de la segmentación (tres partes) de los ejes de un análisis multivariante de ordenación y el análisis de distancias de Mahalanobis entre los tipos de paisajes obtenidos.

Dimensión 2	(+)	Tipo VII Asociación de paisajes tradicionales mediterráneos: mosaico de olivares, almendros y monte	Tipo VIII Monte Mediterráneo. Mosaicos de usos agrícolas y silvícolas	Tipo IX Asociación de paisajes tradicionales silvícolas: mosaico de castañares, choperas y monte
	↕	Tipo IV Paisajes agrícolas arbolados en secano. Mosaico de usos con indicios de abandono	Tipo V Transición entre paisajes agrosilvopastorales en uso y abandonados	Tipo VI Paisajes silvícolas. Mosaico de usos con indicios de abandono. Ambientes agrícolas
	(-)	Tipo I Paisajes agrícolas de secano y usos ganaderos residuales	Tipo II Paisajes ganaderos con procesos de matorralización. Mosaicos de usos agrícolas y silvícolas	Tipo III Usos ganaderos y silvícolas en proceso de abandono
		Ganadería extensiva residual	↔	Monte Mediterráneo
		(-)	Dimensión 1	(+)

jes agrícolas que van desde cultivos leñosos de olivos y almendros a entornos forestales, con formaciones de especies frondosas, plantaciones de castaños y choperas. La segmentación de estos dos primeros ejes y su combinación en el plano de ordenación ofrece nueve tipos de paisaje (Tabla 5), caracterizados por las variables territoriales asociadas a cada una de las dimensiones. La interpretación de este plano, con las distancias Mahalanobis entre los grupos de observaciones obtenidos (100% de clasificaciones correctas en todos los casos), indica que la situación de partida contiene esos tipos de paisaje según las variables de caracterización utilizadas.

Las ecuaciones de ajuste entre estas dos tendencias de variación del paisaje y sus características socioeconómicas se encuentran en la Tabla 6. Para ambas tendencias el valor del coeficiente de determinación y la significación de la regresión indican que gran parte de la variabilidad del paisaje puede ser explicada por los dos modelos calculados ($R^2 = 0,58$; $p = 0,0003$ y $R^2 = 0,88$; $p = 0,0001$, respectivamente). La primera ecuación de regresión describe la variación principal en el territorio, «ganadería extensiva residual–monte mediterráneo», en función de apenas cinco variables socioeconómicas. La segunda muestra la variación «ambientes agrícolas–ambientes silvícolas», que se explica por un mayor número (15) de variables socioeconómicas.

Se han simulado dos escenarios. En el primero se contempla una situación socioeconómica basada principalmente en el desarrollo de actividades propias del sector primario, aumentándose la inversión y el empleo en la industria manufacturera, el aumento del número de unidades ganaderas ovinas, comercios e industria hotelera rural. Se supuso una disminución en el número de analfabetos y personas sin estudios y en el número de emigrantes. Esto se simuló mediante el aumento o disminución de sus valores actuales, en proporciones que oscilan entre -25% a $+30\%$. El segundo escenario simula el abandono agrícola. Para ello se han reducido los valores actuales de inversión en industria y el empleo en la industria manufacturera, tiendas, hoteles y restaurantes. Los aumentos corresponden a la agricultura extensiva de ganado y a la emigración (Fig. 58).

La nueva estructura territorial asociada a la hipótesis de promoción de la agricultura se muestra en la Figura 59a. Hay un desplazamiento de los municipios hacia una estructura del paisaje propia de usos agrícolas y ganaderos. La variabilidad del paisaje se reduce a dos principales tipos de paisajes tradicionales agrícolas, que abarcan la mayoría de los municipios de la zona (tipos I y IV, Tabla 5).

A gran escala, la simulación del segundo escenario desplaza las coordenadas de los municipios hacia el extremo positivo de las dos dimensiones del plano (Fig. 59b). Las trayectorias de cambio indican una evolución hacia un paisaje de bosques y monte mediterráneo, caracterizado por formaciones con diferentes grados de naturalidad. En el nuevo paisaje, se promueve la aparición de usos tipos III, VI y VIII, junto con la propagación de usos relacio-

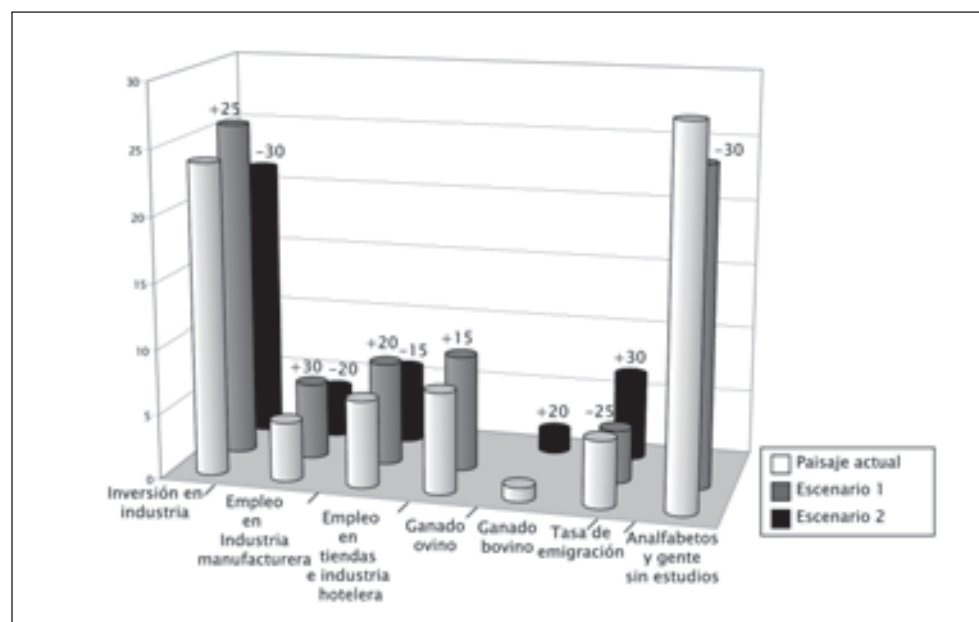


Figura 58. Cambios de valor realizados en variables socioeconómicas que intervienen en la caracterización del paisaje de un territorio piloto del SE español. Mediante modelos de ajuste previos paisaje-socioeconomía pueden simularse escenarios socioeconómicos y predecir cambios en el paisaje. En la figura, las variables indicadas se refieren a actividades y características de la población y sus valores se han aumentado o disminuido en dos escenarios diferentes.

Estudio de casos

Tabla 6. Relación encontrada entre la estructura socioeconómica de un territorio del SE español y las principales tendencias de variación del paisaje de ese territorio. El ajuste se ha realizado por medio de una regresión múltiple por pasos ($n = 32$). a) La función de regresión de la primera tendencia ($R^2: 0.58$; $p = 0.0003$) explica la variación del paisaje mediante cinco variables socioeconómicas (test Durbin-Watson = 1,713; $p = 0,24$). b) El segundo caso ($R^2: 0.88$; $p = 0.0001$) explica la variación del paisaje por medio de 15 variables socioeconómicas (test Durbin-Watson = 2,198; $p = 0,71$).

a) Variación «ganadería extensiva residual – Monte mediterráneo» = $-0.511 + 3.438$ ganadería bovina + 1.085 ganadería porcina + 2.171 ganadería equina – 0.297 inversión en industria + 1.337 cafeterías y restaurantes

b) Variación «ambientes agrícolas – ambientes silvícolas» = $-3.276 - 8.703$ empleo en industria manufacturera – 7.938 empleo en comercios e industria hotelera + 2.047 camiones y furgonetas + 8.132 maquinaria agrícola + 3.833 número de plazas en cafeterías y restaurantes + 2.169 ganado bovino – 1.71 ganado ovino – 2.226 aves y conejos – 5.428 ganado equino + 10.093 tasa de emigración + 12.304 tasa de inmigración + 4.6 analfabetos y gente sin estudios – 7.11 nivel de educación de secundaria – 16.892 nivel de educación universitaria + 0.755 inversión en construcción

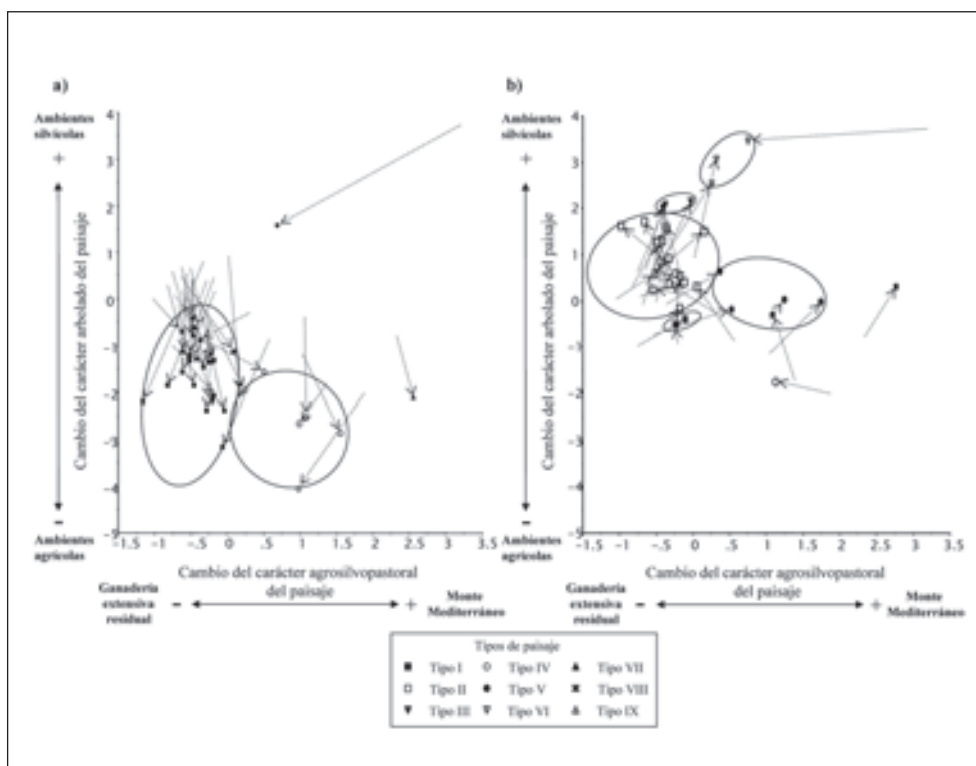


Figura 59. Localización de los municipios en el plano de la nueva estructura territorial generada en la simulación. La dirección de las flechas indica el desplazamiento de los municipios desde sus coordenadas en el plano de ordenación de la estructura del paisaje original (origen de la flecha) hacia los nuevos paisajes (Tabla 5). a) Estructura del paisaje generado por el escenario 1 (promoción rural) y b) escenario 2 (abandono agrícola).

nados con la ganadería extensiva (tipos II y V) y el abandono de actividades agrícolas tradicionales (tipos I, VII, IX). Se acentúan procesos de matorralización y desarrollo del monte. El resultado supone también un cambio notable en la heterogeneidad espacial del paisaje, en la forma que explican algunos trabajos previos^(54,229). A escala local, el patrón de cambio de los municipios difiere en algunos casos de la dinámica a nivel regional, debido al diferente efecto de la simulación en la composición de las variables territoriales en cada uno de ellos. La estructura rural (Fig. 57) depende de la intensidad de explotación de los usos del suelo propios de los paisajes actuales. La heterogeneidad del paisaje se debe a la contribución espacial de los componentes de los sistemas agrícolas, ganaderos y forestales en los que el régimen de explotación determina las diferencias espaciales. Estos representan variaciones en las cantidades de biomasa acumulada que permiten diferenciar visualmente teselas en el paisaje. El proceso está asociado con el grado de aceleración del flujo de energía, muy alto en agrosistemas sobreexplotados y bajo en ambientes abandonados y «salvajes», expuestos a la recurrencia de incendios^(182,208). El territorio muestra, pues, gradientes de variación desde paisajes silvícolas, con bajas tasas de renovación, hasta ambientes agrícolas, con menor acumulación de biomasa. Estas tendencias no sólo representan procesos endógenos del territorio, sino también algunos de los usos del suelo más comunes y más dinámicos en Europa, de acuerdo con lo que señalan la FAO⁽⁷⁷⁾ y EUROSTAT⁽⁷⁵⁾. En la actualidad, este paisaje rural está sufriendo procesos de abandono y degradación que se derivan de una política agrícola europea promotora de cambios y poco centrada en usos del suelo eficientes (si es que ha de haber una alternativa a los usos ancestrales⁽¹⁷⁷⁾). La disminución de la ganadería extensiva y la transformación de estos sistemas en plantaciones forestales ha dado lugar a más incendios forestales y a la pérdida de elementos importantes del patrimonio cultural. El papel de las actividades agrícolas tradicionales en la conservación del paisaje y en la protección de procesos ecológicos importantes y los recursos naturales ha sido reconocida en la política agrícola de la Unión Europea^(6,28,74,197).

Estas actividades generaron paisajes considerados sostenibles que son sin duda una parte del patrimonio europeo necesitada de protección y gestión sensatas. Importa, por tanto, analizar su estructura y futuras posibles tendencias de cambio, como se reconoce ya en diferentes iniciativas europeas sobre conservación del paisaje, algunas específicamente promotoras de los paisajes culturales^(66,74,123,124,264,286,287). Como se ha comentado ya, el paisaje rural tradicional se mantiene gracias a cierta intensidad de la explotación y a las características socioeconómicas del territorio^(21,47,90,160). El de Almería muestra una estrecha relación entre sus estructuras territorial y socioeconómica que derivan de la fuerte influencia histórica de la socioeconomía en la dinámica de usos del suelo. Las variables incorporadas en el modelo de ajuste «paisajes agrosilvopastorales-socioeconomía» indican, pues, que una tipología de paisajes dominados por bosques de encina y plantaciones de coníferas está relacionada con una situación socioeconómica que implica un alto grado de usos ganaderos y, por otra parte, una estructura socioeconómica caracterizada por un aumento en la inversión industrial se asocia con paisajes con evidentes signos de abandono y matorralización (Tabla 5). La relación paisaje-socioeconomía es más intensa en el segundo modelo de regresión formalizado ($R^2 = 0,88$, frente a $R^2 = 0,58$), explicando la variación del paisaje «agrícola-silvícola» en función de descriptores que definen una hipotética estructura socioeconómica, cuya población tendría bajo nivel de cualificación profesional, sometida a flujos migratorios intensos y que en las actividades agrícolas tradicionales se limitan al sector forestal y a la ganadería. En este tipo de ambientes se ha planteado la inversión en construcción como alternativa a las actividades tradicionales⁽²⁹⁰⁾. La relación obtenida en el análisis también formaliza la interacción entre un tipo

de paisaje en el que predominan los cultivos leñosos de secano (olivos y el almendros) con características típicas de un cierto grado de desarrollo socio-económico (empleo en la industria manufacturera, tiendas e industria hotelera, nivel medio-alto de educación, ganadería y agricultura).

En cuanto a la simulación de cambios en el paisaje, en las últimas cinco décadas, el paisaje cultural europeo ha sufrido cambios drásticos en muchos territorios. En la cuenca mediterránea, esto parece ser consecuencia de factores económicos externos determinados por el mercado internacional y su creciente globalización⁽²³³⁾. En la Península Ibérica, ha habido cambios singulares que son ejemplos de la situación aquí escrita⁽²⁸¹⁾. El cambio socioeconómico se caracteriza por una disminución en el número de agricultores que trabajan la tierra y un número creciente de éstos empleados en los sectores secundario y terciario de la economía. Estas dinámicas implican pérdidas culturales evidentes, tienen consecuencias en los procesos ecológicos y generan un complejo conjunto de economías desequilibradas^(190,239). Rounsevell *et al.*⁽²³⁹⁾ llaman la atención sobre el hecho de que en Europa, en las últimas décadas, las áreas agrícolas han disminuido en favor de un aumento en las tierras para uso forestal. Con esto *in mente* se han considerado también los escenarios ensayados antes. Las simulaciones promueven el desarrollo de nuevos tipos de paisaje, que mantienen su carácter rural (Fig. 59). La respuesta de la estructura territorial a las hipótesis de cambio simuladas en los dos escenarios es más notable en la tendencia de la variación del paisaje descrito por la segunda tendencia calculada (paisajes arbolados), debido al mejor ajuste en el modelo utilizado para detectar la evolución socioeconómica.

La estructura territorial asociada con el escenario 1 es además más homogénea que la del paisaje actual⁽⁵⁴⁾, presentando una tendencia general que promueve el cambio de paisajes agrícolas y un cierto grado de abandono de otros tipos de usos, principalmente silviculturales a situaciones que guardan relación con una menor persistencia de la diversidad biológica^(91,200,229,296, entre otros). En cambio, la simulación 2, que ofrece una combinación de paisajes culturales y naturales, a gran escala aumenta la heterogeneidad espacial, un escenario que ofrece una matriz espacial con un mayor nivel de riqueza de hábitats y mayor posibilidad de mantener una alta diversidad biológica^(54,229). La dinámica de los cambios de usos del suelo que implica la pérdida de hábitats y de diversidad de especies constituye uno de los problemas básicos para los que se requieren políticas innovadoras y herramientas de gestión eficaces. Aunque el ensayo realizado no propone un modelo de paisaje ideal, con un determinado grado de heterogeneidad o complejidad, permite describir fácilmente cambios en el paisaje provocados por cambios socioeconómicos. En la medida en que se considere un paisaje rural tradicional ideal o canónico, cualquier cambio socioeconómico que se aparte de esta tipología podría ser considerado poco deseable, si se admite que los paisajes rurales tradicionales son de mayor valor que los más modernos e industriales.

Los posibles cambios en los patrones de usos del suelo generados facilitan la toma de decisiones que abarca una amplia gama de aspectos ecológicos, económicos y culturales⁽¹⁸³⁾. Quizá sean necesarios diseños y aplicaciones cuidadosos que incorporen estos aspectos ambientales y de desarrollo rural en las políticas agrícolas para que éstas sean ambientalmente coherentes. Las formalizaciones favorecen el establecimiento de criterios objetivos de gestión territorial, aunque, obviamente, los resultados del ensayo comentado se basan en la manera en que se ha establecido la tipología de los paisajes estudiados y de la estructura socioeconómica de la población. Aunque el estudio se centra en un área específica del Mediterráneo occi-

dental, métodos como el aplicado en este estudio pueden ser aplicados a otras situaciones. El paisaje se asocia fundamentalmente a procesos sociales, pero hoy en día las formalizaciones teóricas explícitas de esta relación distan aún de ser completas⁽¹⁸⁶⁾. La desagregación de los procesos internos de los paisajes rurales en relación con aspectos naturales y socioeconómicos permite, en cualquier caso, formalizar modelos como éste que pueden ser un indicador agro-ambiental^(220,282), pues satisface la mayoría de las características requeridas para el análisis y la evaluación ambiental a nivel de paisaje –para establecer nuevos esquemas agro-ambientales se necesitan planes de evaluación basados en el conocimiento de las relaciones como la que se analiza en el estudio comentado⁽¹³⁸⁾; lo que permitiría considerar futuros planes de política agro-ambiental a través de acciones específicas de gestión relacionadas con el paisaje–. El ensayo comentado es una herramienta basada en la relación «paisaje-socioeconomía» que evita expresamente la complejidad implícita en algunos modelos⁽²⁸⁰⁾. Desde el punto de vista de las políticas de conservación del paisaje, debe insistirse en los escenarios de cambio socioeconómico (hipótesis de variación de algunos indicadores socioeconómicos) y en la predicción de las variaciones (la simulación del cambio de paisaje), siempre dentro de los límites establecidos por las restricciones de los modelos. Los nuevos esquemas agro-ambientales promovidos en Europa pretenden la sostenibilidad, la protección del medio ambiente y la conservación de paisajes culturales y estilos de vida rurales⁽²⁶⁷⁾, de manera que en este contexto los modelos de simulación pueden ser una referencia para el trabajo de base de las políticas que quieran llevarse a la práctica.

3.8.2. Relación entre la oferta del paisaje y la demanda de sus usuarios

Muchos de los paisajes que resultan atractivos para usuarios habituales y eventuales corresponden a valiosos sistemas rurales tradicionales que a veces están protegidos. Las actividades recreativas y, en general, las ligadas a diferentes manifestaciones del turismo constituyen hoy nuevos usos que aportan un valor añadido al territorio. Este valor se basa tanto en intereses culturales como económicos. De hecho, para mantener paisajes que soportan este valor es importante establecer vínculos con la población local, habida cuenta de que ésta frecuentemente tiende a abandonar, con consecuencias nefastas, ciertas áreas marginales que tienen esas características^(117,182,208). En este contexto, se han estudiado características naturales y culturales de paisajes para caracterizarlos como oferta para visitantes, y éstos, por su parte, han sido categorizados mediante encuestas que permiten conocer sus preferencias. Análisis numéricos de ambos tipos de datos permiten determinar el grado de correspondencia entre ellos, teniendo en cuenta percepción, preferencias e intereses potenciales de paisajes concretos que se han reconocido como «nicho recreativo», de acuerdo con el grado de satisfacción que ofrecen⁽²⁴⁶⁾. Si esta correspondencia puede cartografiarse, los mapas resultantes constituyen herramientas muy útiles para el desarrollo de estrategias de planificación y gestión ambiental de ciertos territorios.

El paisaje, como se ha dicho, es resultado de muchos procesos estructurales y dinámicos, tanto naturales como antropogénicos. Los componentes naturales y socioeconómicos constituyen un sistema en el que ambos co-evolucionan –los ya mencionados *co-evolving systems*^(191,273), de modo que las modificaciones en las estructuras y procesos sociales normalmente les afectan^(6,14,21,28,155,268,272)–. El abandono rural es también frecuente consecuencia de modelos de desarrollo agrario intensivo, basados en la aplicación de técnicas modernas dirigidas a una elevada producción a costa de importantes consumos energéticos y de la susti-

tución de actividades tradicionales de la cultura rural por otras modernas. Paralelamente a estos fenómenos se ha producido, no obstante, un desarrollo del turismo en todo el mundo con un aumento constante de las demandas de los visitantes. En algunos destinos turísticos habituales, el atractivo está a menudo relacionado con características derivadas muy directamente del clima local^(232,242,275). Los sistemas tradicionales rurales ofrecen el valor añadido de un paisaje cultural, para el cual –y para la calidad de sus productos variados, cada vez más escasos– existe una demanda turística creciente. Los gestores deberían, pues, evaluar el desarrollo de nuevos usos territoriales relacionados con el turismo cultural y recreativo^(79,94). La evaluación cuidadosa de los efectos del turismo sobre la estructura territorial es además un objetivo importante de la planificación, ya que algunos turistas se sienten atraídos por los entornos caracterizados por la fragilidad del propio sistema socio-ambiental. Esta fragilidad está asociada a la sensibilidad de las características del paisaje ante los cambios ambientales impuestos por una intensa actividad humana⁽²⁰³⁾. La interconexión entre los procesos ecológicos, la estructura socioeconómica y el patrimonio cultural también ha llegado a estar condicionado por las nuevas demandas del turismo, así que la idea de desarrollo sostenible, bastante aceptada en la teoría pero malamente formalizada, ha comenzado a dominar recientemente el debate sobre el turismo^(102,295).

Un modelo de turismo ambiental sensato podría constituir el mejor uso de los recursos naturales de ciertos territorios, comprometiendo a ENP y espacios naturales y culturales especialmente sensibles desde puntos de vista ecológicos. Además, el turismo sostenible (sensato) puede ser una forma de asegurar que algunos de los beneficios generados se inviertan en la gestión y protección de hábitats y de la diversidad biológica. En consecuencia, también puede mejorar la calidad de vida de la población local y la revitalización de la producción agrícola local tradicional⁽¹⁶⁶⁾. La llegada del turismo a zonas consideradas de interés a consecuencia de su paisaje y su cultura proporciona más ingresos potenciales, por ejemplo mediante la provisión de alojamiento en casas rurales, restaurantes, promoción del arte y, en general la cultura local, productos agrícolas, artesanías, jardinería, granjas educativas, etc. El aumento del empleo local es un factor determinante en el establecimiento de los mencionados vínculos entre el uso recreativo de la naturaleza y la conservación, ayudando a mantener paisajes tradicionales y sus usos junto a los modelos más restrictivos y cada vez más impopulares de conservación estricta de la naturaleza⁽¹³⁷⁾.

Respecto a la valoración del paisaje por sus observadores, la diversidad en la apreciación de un mismo paisaje puede ser tan grande que muchos investigadores no han logrado establecer criterios analíticos para determinar la calidad de éste, lo que serviría para proporcionar un sistema útil de clasificación de las cualidades del paisaje. Estudios del paisaje basados en la percepción han establecido tipologías en función de apreciaciones subjetivas, de naturaleza cuantitativa o cualitativa, utilizando comparaciones entre pares de escenas visualmente apreciadas, como fotografías o dibujos^(101,244). Es difícil separar la idea de paisaje de la predisposición del observador para evaluar su estética, ya sea positiva o negativamente. Algunos paisajes son más atractivos que otros en función de su rareza, la atmósfera emocional que transmiten al observador o los sentimientos que provocan en él, sin embargo, una descripción de las cualidades del paisaje también puede basarse en parámetros analíticos o sintéticos. Así, en la valoración de un paisaje, coexisten aspectos racionales y emocionales. Ambos deben tenerse en cuenta en la planificación y gestión ambiental del territorio, sobre todo en las estrategias para el desarrollo de actividades turísticas.

a) Provincia de Madrid

Se han llevado a cabo trabajos encaminados a analizar paisajes culturales rurales del centro de España, tipificándose sus usuarios e introduciéndose un nuevo enfoque metodológico para comparar la evaluación pretendidamente objetiva de los expertos ambientales de los diferentes tipos de paisajes y la apreciación subjetiva de los visitantes. Se consideran características naturales y rurales culturales del territorio que en principio tendrían cierto potencial de atracción. Se analiza también la tipología de paisajes que perciben los turistas, su distribución espacial potencial y la coincidencia entre las características de los paisajes y las preferencias del colectivo de visitantes. Además, la representación cartográfica de los análisis realizados, representa una herramienta novedosa para la ordenación y planificación del turismo y los usos recreativos de una región determinada.

Se ha realizado, pues, un estudio en la provincia de Madrid, un territorio de unos 8.000 km². Algo más de un tercio de este espacio, en su parte septentrional y occidental, lo constituyen terrenos montañosos y de piedemonte. El resto contiene terrenos sedimentarios que configuran un paisaje de carácter agrícola en el centro y parte oriental de esta provincia. De sureste a noroeste hay un marcado gradiente climático altitudinal desde unos 400 m snm en los valles hasta los 2.000 m de la montaña. El territorio ha sido utilizado desde hace milenios para muy diferentes actividades, algunas tales como aprovechamientos agrarios mixtos (agricultura, silvopascicultura), bien integradas y dependientes del medio natural que condiciona la variación ambiental comentada. Hay zonas montaraces cuya apariencia es la de paisajes ancestrales históricamente basados en aprovechamientos cinegéticos. Aunque han habido cambios importantes en el paisaje a lo largo de las últimas décadas debido a un intenso cambio socioeconómico, aún existen estas zonas de reconocido alto valor natural, así como de interés agrícola y estético-cultural que ofrecen interesantes posibilidades para el turismo cultural⁽⁵⁸⁾. El turismo y diversas actividades que podrían considerarse asociadas a él, ejercen en la actualidad una gran presión sobre la mayoría de los ENP con que cuenta esta provincia⁽⁹⁸⁾, debido a estrategias de desarrollo local que frecuentemente han recurrido a la promoción casi siempre acertada del turismo y raramente meritoria de la segunda residencia en muy diferentes tipos de paisajes.

En el trabajo comentado se ha analizado la demanda teórica del turismo mediante encuestas realizadas a visitantes a lo largo del año, en días dispersos desde otoño hasta verano y durante periodos clásicos de vacaciones, como fines de semana, Navidad, Semana Santa y buena parte del verano. Las personas encuestadas se seleccionaron al azar en muy diferentes tipos de lugares, considerándose especialmente zonas de interés para el turismo, tales como áreas conocidas de recreo, sitios de acampada y alrededores de centros de educación ambiental en todos los ENP. Se trataba de «interrogatorios itinerantes» (que cubren una ruta por cada área seleccionada) y «en espera» (en un punto específico en el camino), sin consultarse más de dos personas en cada grupo, para evitar posibles redundancias en sus respuestas, no siendo muy habitual encontrar visitantes solitarios.

Estudio de casos

Tabla 7. Cuestiones contenidas en encuestas hechas a un conjunto numeroso de visitantes de espacios rurales de Madrid. 1 Descripción sociológica de los encuestados. 2 Identificación de diferentes aspectos de la visita –valoración alta (A), media (M) o baja (B) de la visita–. 3 Caracterización de preferencias de paisaje. 4. Actividades previstas. *Características del paisaje con representación espacial que pueden ser fácilmente percibidas y valoradas por los visitantes.

1	3	4
Nacionalidad	Encinares*	Pesca*
Ciudad de nacimiento	Choperas	Caza*
Sexo	Valles	Picnic*
Edad	Dehesas*	Contemplación de la naturaleza
Lugar de residencia	Páramos*	Fotografía de la naturaleza
Estudios realizados	Estepas*	Participación en actividad rural
Profesión	Paisajes rurales (portillos, vallas, setos, cercas...)	Piragüismo
¿Primera visita a la zona?	Sabinares*	Vela
¿Cuántas veces ha venido antes?	Fresnedas*	Esquí acuático
¿Cuántas noches va a permanecer?	Robledales*	Rutas de naturaleza
Viaja solo o acompañado	Pinares *	Rutas culturales
¿Qué tipo de alojamiento utiliza?	Hayedos*	Senderismo
¿Cómo llegó a la zona?	Otras frondosas*	Montañismo, alpinismo ...
¿Cómo se va a desplazar por la zona?	Observación de aves*	Observación de otros animales*
¿Qué le impulsó a elegir la zona?	Monte mediterráneo*	Observación de vegetación
2	Montañas*	Recolección de plantas o frutos
Visita a parientes o amigos (A, M o B)	Alta montaña*	Ciclismo
Viaje de negocios (A, M o B)	Recolección de setas	Rutas ecuestres
Ocio, recreo y vacaciones (A, M o B)	Frutales*	Equitación
Contemplación del paisaje (A, M o B)	Campaña con setos*	Espeleología
Clima del área (A, M o B)	Olivares*	Ultraligeros, vuelo sin motor
Contacto con la naturaleza (A, M o B)	Mosaico de cultivos*	Parapente
Mundo rural (agricultura, ganadería) (A, M o B)	Cultivos de secano*	Vehículos 4x4
Monumentos (castillos, puentes, iglesias...) (A, M o B)	Cultivos de regadío*	Bicicleta de montaña
Actividades culturales (A, M o B)	Huertas	Motocross o trial
Práctica de actividades deportivas (A, M o B)	Matorrales de aromáticas (tomillares, etc.)	Esquí
Tratamiento de salud (A, M o B)	Otros matorrales (jarales, retamares, etc.)*	
Asistencia a cursos o eventos culturales, técnicos, etc. (A, M o B)	Prados y pastizales	
Fiestas y folklore (A, M o B)	Caminos, vías, senderos, cañadas*	
Artesanía (A, M o B)	Cimas montañosas	
Gastronomía (A, M o B)	Muelas	
Cercanía a su lugar de residencia (A, M o B)	Terrenos rocosos*	
Precio (A, M o B)	Canchales y pedreras	
	Cuestas, barrancos y cantiles	
	Cuevas*	
	Ríos y vegetación de ribera*	
	Lagos y embalses*	
	Lagunas y charcas*	
	Fuentes y manantiales	

A pesar de que se realizaron las entrevistas a lo largo de rutas o en puntos específicos, las preguntas no se refirieron expresamente a esos lugares, sino a hitos y características propias de toda la provincia de Madrid. Aunque las encuestas no se realizaron en la ciudad, se entrevistó a personas que pasaban habitualmente su tiempo libre disfrutando del paisaje no urbano.

Los cuestionarios se basaron en las expectativas y experiencias de los entrevistados y en su perfil sociológico y cultural. Las preguntas se dividieron en cuatro clases de acuerdo con su perfil sociológico, su identificación de los diferentes aspectos del paisaje, la caracterización de sus preferencias de paisaje y su intención de realizar determinadas actividades en el territorio (Tabla 7). Las cuestiones fueron depurándose inicialmente realizando previamente encuestas a docenas de personas hasta iniciar la campaña principal⁽¹²¹⁾. En ésta participaron 1.549 encuestados, creándose con ellos una tabla de datos cualitativos con 157 variables correspondientes a sus preferencias del paisaje (clases 2 a 4; Tabla 7). Pudieron obtenerse grupos de visitantes mediante análisis multivariante de ordenación y clasificación aglomerativa de los 10 principales ejes de este análisis^(143,285). Variables sociológicas constituyeron descriptores externos de los visitantes (clase 1, Tabla 7), de manera que no fueron incluidas en el análisis numérico.

- *Descripción del paisaje.* Datos de altitud, pendiente, geomorfología, red de drenaje, formaciones vegetales y usos del suelo sirvieron para caracterizar las celdas de 1 x 1 km de una rejilla que permitió disponer de un mapa vectorial con el porcentaje de cobertura por celda de las diferentes clases de variables consideradas^(68,72).

Puede contarse así con una matriz de 7.836 observaciones que representan posiciones regulares del espacio descritas por 147 variables informativas de las características mencionadas⁽⁷⁹⁾. Los datos de esta matriz pueden tratarse mediante análisis multivariante de ordenación y posteriormente clasificarse jerárquica y aglomerativamente los diez principales ejes obtenidos. Los parecidos entre observaciones se consideran distancias euclídeas^(130,156). La georreferencia de estos análisis ofrece mapas de tipos de paisajes basados en la descripción multivariante del territorio⁽⁶²⁾.

- *Percepción del atractivo turístico del territorio.* Los cuestionarios permiten evaluar y cuantificar la apreciación de las características del paisaje por cada tipo de visitante^(188,278). El análisis espacial de la interacción paisaje-perceptor permite identificar el grado en que diferentes zonas del territorio coinciden con las preferencias de sus visitantes. En el caso tratado, sobre la base de las preguntas formuladas se seleccionaron 32 variables paisaje.

El procedimiento se basó en dos conjuntos de datos (Fig. 60): por un lado, una matriz de valoración de las características del paisaje natural, cuyos elementos (a_{ij}) cuantifican las respuestas a las preguntas sobre las 32 variables espaciales de los tipos de turistas identificados (Fig. 60a) y, por otro lado, otra matriz con las características del paisaje por las que muestra interés el visitante, cuyos elementos (b_{ij}) cuantifican la presencia de las 32 características territoriales en los ocho tipos de paisajes obtenidos previamente (Fig. 60b).

Una clasificación de la matriz b (Fig. 60b) permite diferenciar grupos de paisajes característicos, teniendo en cuenta las variables naturales seleccionadas. Los paisajes así obtenidos representan la «oferta» turística potencial del territorio. Para determinar la percepción de los visitantes sobre el paisaje puede hacerse el producto de ambas matrices, cuyos elementos ($a_{ij} \times b_{ij}$) cuantifican la demanda turística del territorio de acuerdo con las características de las diferentes comarcas del mismo (Fig. 60c). La clasificación de esta matriz producto intermedia ofrece los tipos de paisaje percibidos representados por su «demanda» por los visitantes. La correspondencia «oferta paisa-

jística del territorio-percepción de visitantes» se obtiene por comparación entre los grupos obtenidos a partir de las matrices de paisaje («oferta» indicada en la Fig.60b) y los grupos de paisajes preferidos por los visitantes («demanda»; Fig. 60c). Esta correspondencia puede calcularse mediante una tabla de contingencias de los respectivos grupos (Fig. 1d). La similitud (d_{ij}) entre éstos puede expresarse como el cociente entre el número de observaciones comunes en los grupos de una u otra clasificación y el número total de observaciones diferentes en cada grupo.

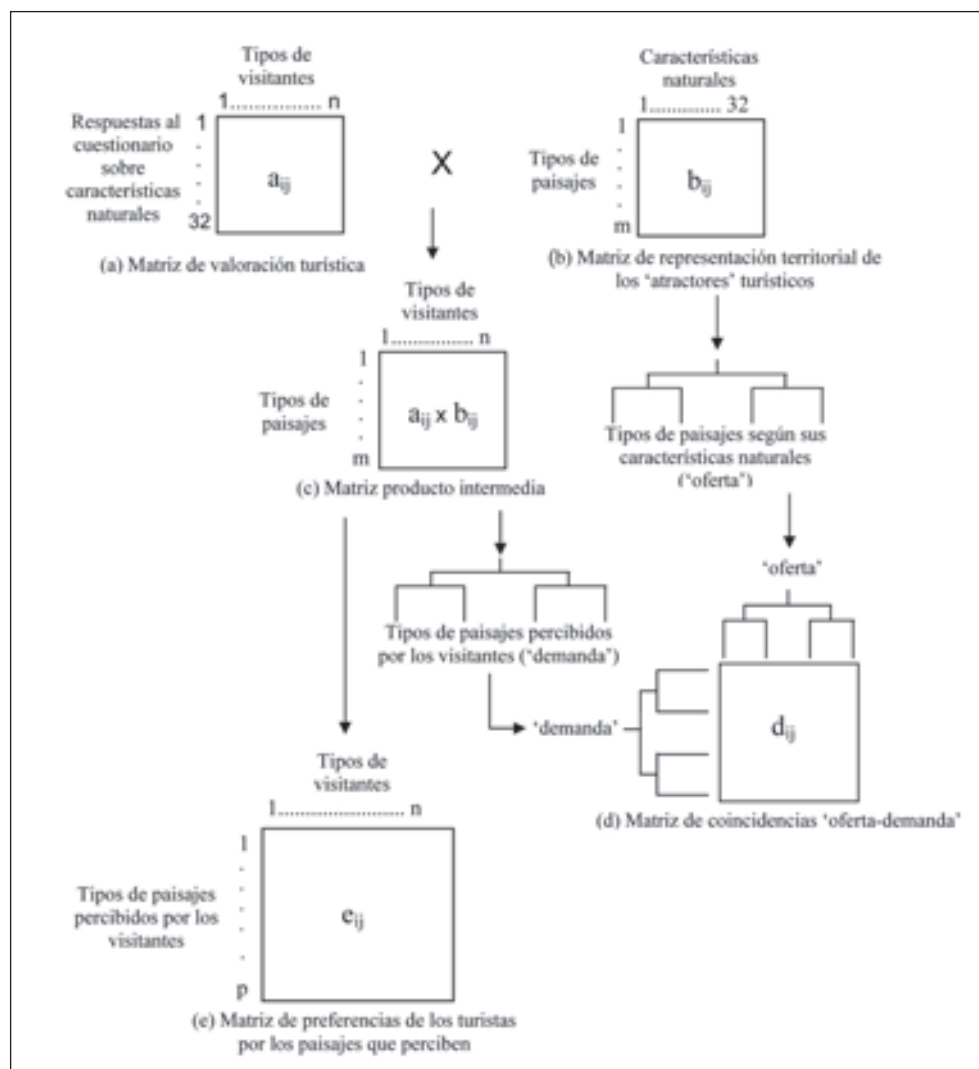


Figura 60. Método basado en una multiplicación de matrices $[a] \times [b]$ para estudiar la correspondencia entre demanda de paisaje y oferta del territorio. La matriz producto resultante, $[c]$, cuantifica la demanda de los visitantes de las características del paisaje. $[b]$ y $[c]$ cuantifican respectivamente la oferta y la demanda. La correspondencia de los grupos de paisajes que representan la oferta y la demanda de los visitantes, $[d]$, puede calcularse mediante una matriz de coincidencias. $[e]$ (preferencias de los visitantes por las diferentes característica del paisaje).

- *Satisfacción de la demanda.* Los resultados que ofrece este procedimiento pueden usarse para construir una nueva tabla representativa de las preferencias de los visitantes por las características del paisaje (Fig. 60e). Los elementos de esta tabla, e_{ij} , pueden ser los valores medios de las características discriminantes en los tipos de paisaje apreciados (los valores que cuantifican las preferencias de los visitantes pueden estandarizarse y dividirse en categorías; por ejemplo, alta, media, baja).
- *Nicho recreativo de los visitantes.* Considerando la idea de nicho ecológico de G.E. Hutchinson⁽¹²²⁾ sobre las tolerancias de las especies biológicas a las diferentes características del ambiente, las preferencias de los visitantes de un territorio por las características del paisaje que contiene pueden tenerse en cuenta para caracterizar el «nicho recreativo» potencial de estos visitantes^(37,217). Estas preferencias permiten estimar la distribución espacial potencial de los visitantes en el territorio (Fig. 61)¹².

El análisis de las respuestas al cuestionario permite detectar tipos de visitantes y características territoriales que responden a sus preferencias. En Madrid, las características propias de las zonas de montaña y espacios con presencia de agua (ríos y superficies de agua) son claramente las más frecuentes en las preferencias de los visitantes. Este resultado es muy común en casi todo el mundo. Las actividades a practicar al aire libre que fueron más valoradas son las relacionadas con la observación de la naturaleza, la contemplación del paisaje y de las aves. La razón de visitar los espacios naturales se relaciona con el tiempo de ocio y las vacaciones. La mayoría de los visitantes procedían de la provincia de Madrid, unos pocos del resto de España y muy pocos del extranjero. En función de las variables de mayor valor discriminante, hay cuatro tipos de visitantes con actitudes y percepciones diferentes: *indiferentes* (46% del total), que disfrutan de su tiempo disponible al aire libre, sin preferencia por ningún tipo particular de paisaje o actividad relacionada con el medio natural o rural; *generalistas* (7%), con bajo nivel de apreciación de la oferta natural y cultural del territorio y comportamiento basado en el ocio o en visitas familiares y de trabajo; estos visitantes valoran la proximidad de la naturaleza a su lugar de residencia; *naturalistas-deportistas* (28%) y *naturalistas-rurales* (19%), con gran interés y conocimiento de la naturaleza y el medio rural, mostrando unos y otros interés particular por la práctica deportiva o el itinerario cultural.

¹² La amplitud media de nicho espacial, A, del conjunto de los visitantes encuestados pueden calcularse mediante la expresión^(61,217):

$$A = H(L/V) / \log_2 N$$

H (L/V) es la entropía del paisaje, L, condicionada por los visitantes, V. A es una medida de la incertidumbre de encontrar un visitante determinado, teniendo en cuenta sus preferencias, en un paisaje determinado. N es el número total de tipos de paisaje considerado. A varía de 0 (ocupación heterogénea del territorio por los diferentes visitantes) a 1 (ocupación uniforme; Fig. 61).

El solapamiento medio de nicho espacial, S del conjunto de visitantes puede calcularse como:

$$S = H(V/L) / \log_2 T$$

que mide la incertidumbre de que un paisaje determinado pueda ser visitado de acuerdo con las preferencias de un determinado tipo de turista. T es el número de tipos de visitantes considerados. S varía de 0 (no coincidencia de los diferentes visitantes en los mismos puntos del territorio) y 1 (coincidencia total; Fig. 61).

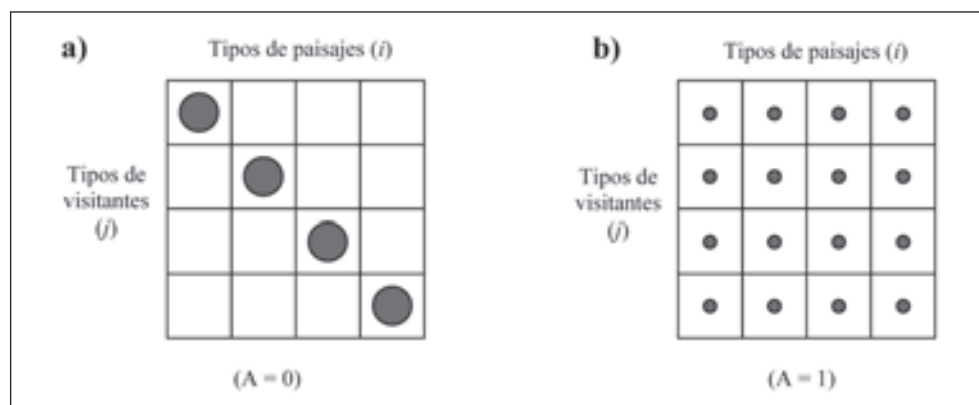


Figura 61. Grado de preferencia por cada tipo de paisaje *i* de distintos visitantes, *j* (e_{ij} , Fig. 60; los tamaños de los círculos indican los valores de las preferencias e_{ij}). La matriz *a* indica una distribución ordenada de las preferencias de manera que cada tipo de visitante prefiere un paisaje diferente (amplitud de nicho $A=0$ para cada uno de los visitantes y como valor promedio). *b* representa la uniformidad en esas preferencias y cada tipo de visitante muestra la misma preferencia por cada tipo de paisaje (máxima amplitud de nicho, $A=1$, para cada uno de los visitantes y como valor promedio). Basado en Pineda *et al.*⁽²¹⁷⁾.

- *Oferta turística del paisaje.* Hay diferencias netas entre los conjuntos de características consideradas en el paisaje que ayudan a su tipificación. Esto permite diferenciar en el territorio de Madrid ocho tipos de paisajes de acuerdo con un nivel aceptable de similitud entre los grupos de características que resultaron ser discriminantes (Figs. 60b y 62). Algunas de éstas se perciben y se identifican fácilmente (expresan el «fenosistema» o apariencia del paisaje), mientras que es más difícil identificar otras propias de tramas que subyacen en la imagen —«criptosistema»⁽¹⁰¹⁾; por ejemplo, es relativamente fácil identificar tipos de vegetación y de usos agrícolas, pero no la temperatura media del mes más frío o la evapotranspiración; ambas, sin embargo, pueden ser fuertemente condicionantes de los componentes de la imagen percibida—.

Aunque los dos tipos de variables utilizadas en el análisis fueron indicadores de la compleja trama de relaciones ecológicas subyacentes, se consideraron como «atractores turísticos» las que podían ser fácil y rápidamente percibidas por un visitante ocasional. La clasificación de la matriz territorial de 32 variables muestra un territorio con cuatro grandes grupos de paisaje percibidos (L_{t1} - L_{t4} ; Fig. 63a) que representan los tipos generales de atractivos turísticos potenciales de Madrid. L_{t1} son áreas con formaciones de árboles frondosos y complejos mosaicos de matorrales, encinares, robledales y pinares, pastos en las cimas y laderas de montaña. Son zonas de silvicultura y ganadería extensiva, atractivas para actividades relacionadas con el senderismo, la caza y la pesca. L_{t2} son zonas de matorral y pastizales con encinares, robledales y fresnedas, mosaicos de cultivos de secano en las laderas y divisorias de agua de valles amplios. Es un paisaje de silvicultura, ganadería y agricultura marginal, con núcleos urbanos y tendencia al desarrollo urbano más o menos masivo. Las actividades de recreo que destacan aquí son las relacionadas con la caza y específicamente con la observación de la fauna. L_{t3} es el monte mediterráneo, zonas boscosas con acumulación de biomasa y baja productividad con pastizales en proceso de abandono (matorralización)

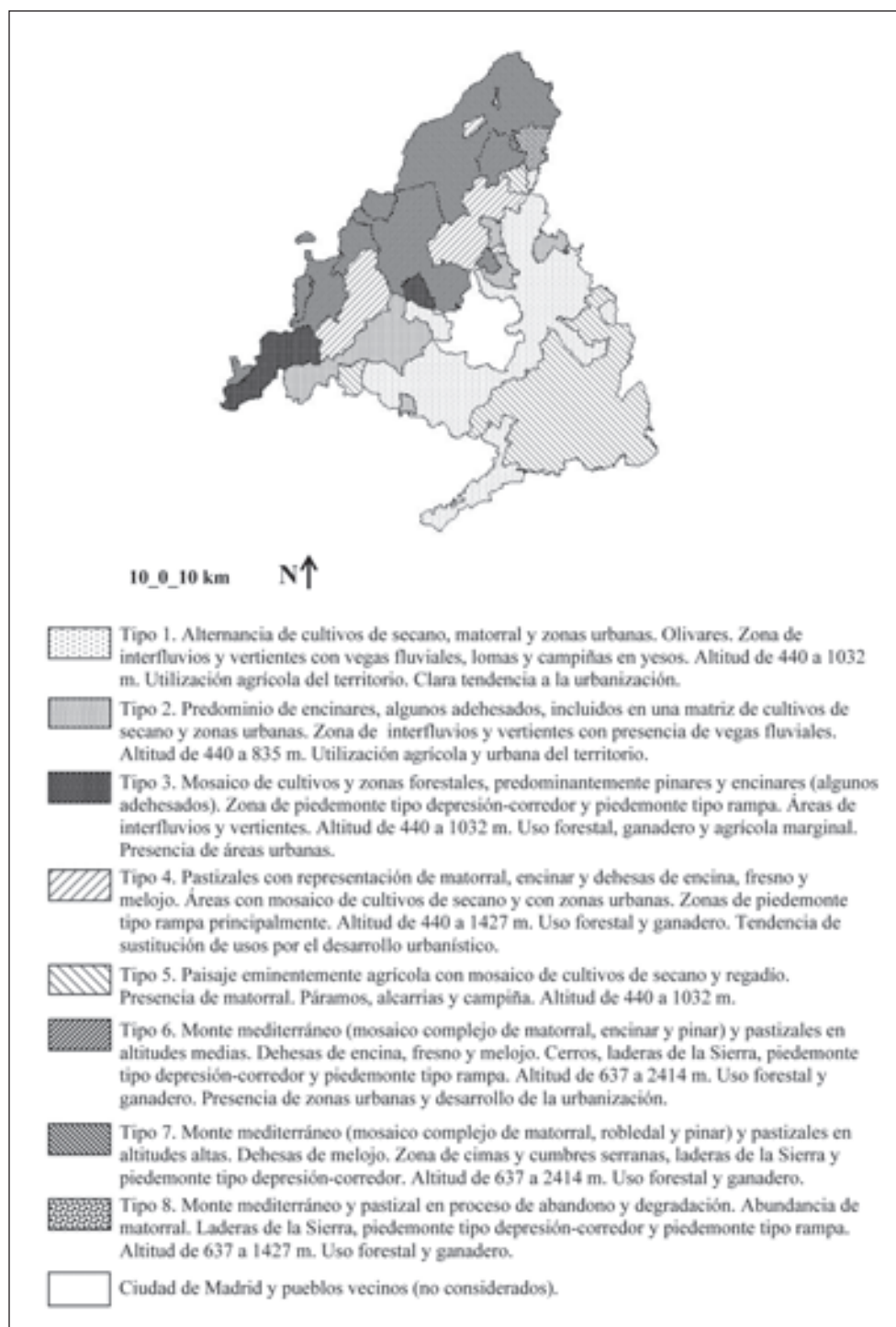


Figura 62. Caracterización numérica cartográfica de los tipos generales de paisaje de Madrid.

Estudio de casos

en laderas. Los encuestados visitan estas zonas para cazar, observar especialmente las aves, practicar senderismo, ciclismo, rutas de naturaleza, pesca y deportes acuáticos. L_{t4} es en general el paisaje agrícola de secano y de regadío, con algunos asentamientos en laderas, campiñas y valles fluviales. El potencial recreativo es la caza, la observación de la naturaleza culturizada, senderismo, ciclismo y varios tipos de rutas de naturaleza.

La información contenida en la matriz intermedia (Fig. 60c) indica que los visitantes perciben sólo cuatro tipos de paisaje ($L_{p1,2,3}$ y 4; Fig. 63b). La coincidencia entre la oferta de los paisajes percibidos de zonas montañosas (L_{t1} ; Fig. 63a) y de zonas predominantemente agrícolas (L_{t4}) y la demanda de algunos visitantes es total (L_{p1} y L_{p4} ; Fig. 64). Se trata respectivamente de los visitantes caracterizados como indiferentes y como naturalistas rurales. Hay en cambio coincidencias medias o nulas de oferta y demanda entre los restantes sectores y los otros tipos de visitantes.

En cuanto a la amplitud y el solapamiento de nichos, no hay segregación espacial significativa en el territorio. Todos los grupos de visitantes tienen valores muy altos de amplitud, lo que indicaría que el recreo al aire libre, independientemente del grado de satisfacción de los visitantes ante los diferentes paisajes, sería potencialmente muy extenso en su distribución espacial. También hay un alto solapamiento de nicho de recreo

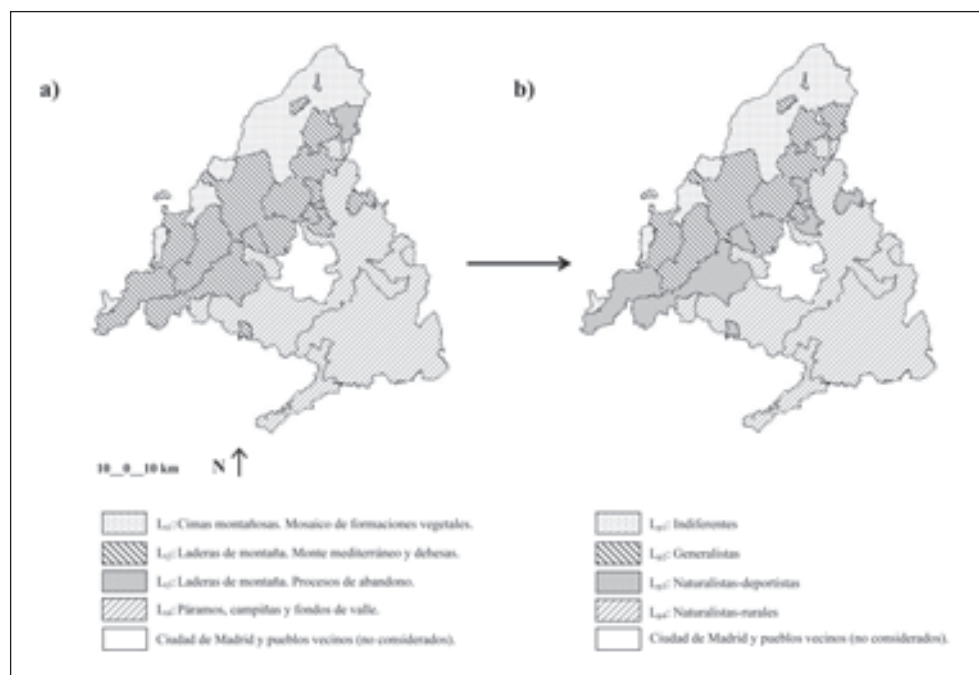


Figura 63. a) Caracterización numérica cartográfica de tipos generales de paisaje de Madrid tal como son percibidos por diferentes tipos de visitantes del área. La tipología del paisaje responde a características naturales fácil y rápidamente percibidas por los visitantes. b) Tipos de paisaje preferidos por los diferentes visitantes detectados.

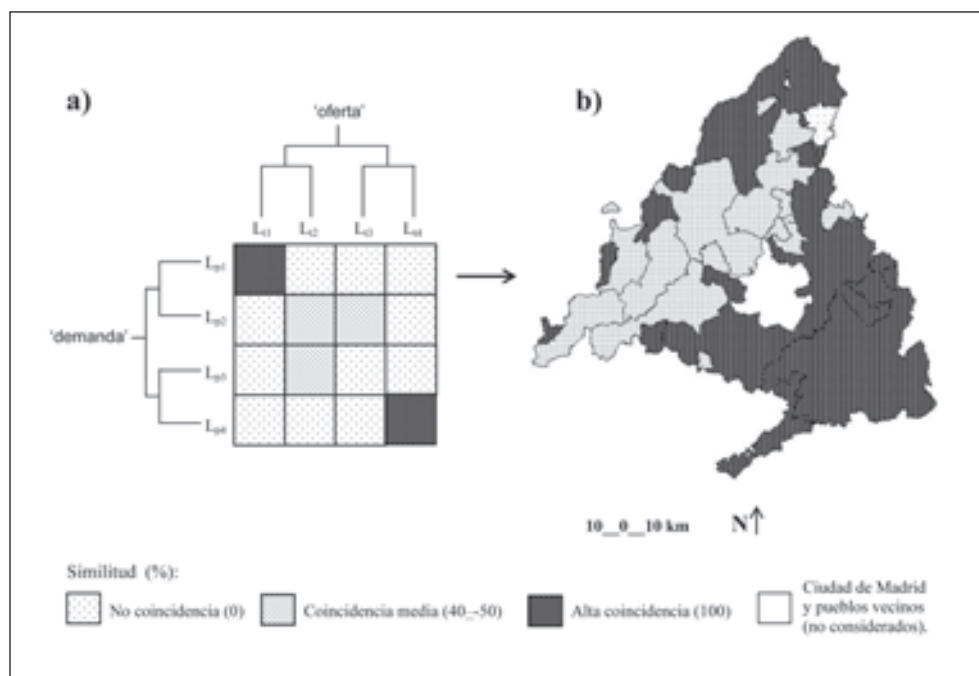


Figura 64. Oferta y demanda de paisaje de los visitantes del territorio de Madrid. a) Esquema de la matriz de coincidencias «oferta-demanda» y b) representación cartográfica de la misma. Esta coincidencia es máxima (100% similitud) entre el paisaje de montaña (L_{a1}) y los visitantes que por sus características pueden ser considerados como indiferentes ante el paisaje (L_{p1}), así como entre paisajes agrícolas (L_{a4}) y visitantes naturalistas rurales (L_{p4}).

al aire libre en los sectores del área, especialmente en los paisajes más montañosos, con laderas escarpadas con monte mediterráneo en distintos grados de conservación (Tabla 8).

El comportamiento de los visitantes de Madrid se basa en estereotipos del turismo en general, con turistas generalistas y especialistas^(104,249), aunque en todos destaca la importancia de la naturaleza como elemento de referencia del paisaje preferido, hay diferentes tipos de visitantes y con mayor o menor grado de especialización. Entre los más especializados están los atraídos por el entorno natural y rural, la naturaleza, la cultura rural tradicional y las actividades deportivas. La valoración de los deseos, preferencias y actitudes de los visitantes en relación con las características del territorio mediante análisis multivariantes permite examinar todos los aspectos que definen los tipos de visitantes e identificar los más relevantes, de diferente forma que mediante métodos monovariantes^(234,292).

Conocer las características de los visitantes parece una idea básica para un turismo sensato. Los diversos tipos de visitantes y sus diferentes actitudes y necesidades en relación al paisaje implican una aproximación diferencial a la gestión turística, así que las características del medio natural de las zonas destino deberían considerarse siempre como un marco conceptual de base. Planificar estrategias nuevas para los usos del

Tabla 8. Distribución espacial potencial de los visitantes de Madrid de acuerdo con sus preferencias paisajísticas. Valores de amplitud y solapamiento del nicho recreativo de acuerdo con estas preferencias. Ambos parámetros se miden en *bits*. La entropía $H(L/V)$ del paisaje (L) condicionada a los visitantes (V) = 1.844 y la entropía $H(V/L)$ de los visitantes (V) condicionada a los paisajes (L) = 1.803, la amplitud de nicho media A de los visitantes = 0.922 y el solapamiento de nicho medio S del territorio = 0.902. Cálculos basados en Pineda *et al.*⁽²¹⁷⁾.

Amplitud de nicho espacial de los visitantes, A_i			Solapamiento de nicho espacial en cada tipo de paisaje percibido por los visitantes, S_j		
<i>Tipos de visitantes</i>	$H(V_i/L)$	A_i	<i>Tipos de paisaje (Fig. 63)</i>	$H(V/L_j)$	S_j
Indiferentes	1.8329	0.9165	$L_{t1} - L_{p1}$	1.8647	0.9323
Generalistas	1.7858	0.8929	$L_{t2} - L_{p2}$	1.8433	0.9216
Naturalistas-deportistas	1.7940	0.8970	$L_{t3} - L_{p3}$	1.7940	0.8970
Naturalistas-rurales	1.8988	0.9494	$L_{t4} - L_{p4}$	1.6402	0.8210

paisaje, gestionar las visitas, controlar las tendencias del turismo interior y predecir la demanda de recreo requiere este tipo de información. En esto cuenta no sólo el perfil sociológico, la frecuencia de las visitas, actividades o calidad de las infraestructuras que necesitan –alojamiento, acceso a la zona en cuestión, servicios varios^(107,222,242)– sino también la valoración que hace el turista del paisaje. Este aspecto constituye una de las principales razones por las que un turista selecciona un destino turístico en particular. Mapas de paisaje como los elaborados en el ensayo anterior pueden servir para describir las características ambientales que la zona puede ofrecer en términos de actividades de ocio y recreo y satisfacción de la demanda.

Sobre el particular existen discrepancias entre las percepciones de los visitantes y los tipos de paisaje obtenidos con criterios ecológicos cuantitativos. Esto viene a señalar la importancia de considerar diferentes criterios en la evaluación y la sectorización del paisaje para la gestión. Las principales organizaciones nacionales e internacionales y el sector privado deberían apoyar investigaciones de este tipo^(140,187,294). El desarrollo potencial de turismo natural y cultural depende de la gestión de la estrecha relación entre turismo y paisaje. Satisfacer las demandas de los diferentes tipos de visitantes refleja paisajes canónicos (ideales) que se ajustan en mayor o menor grado a la realidad de su uso turístico, dependiendo de su capacidad ecológica de acogida.

En síntesis, el turismo tiene componentes físicos (ambientales) y psicológicos –relacionados con percepción y valoración^(102,199)– y éstas pueden alterar lo que constituye en sí la atracción turística. Esto demuestra la importancia de los aspectos estéticos en la conservación de la estética así como de las funciones ecológicas y sociales. Diversos foros internacionales^(74,293,294) han establecido directivas y recomendaciones internacionales y códigos de ética en el desarrollo de un turismo basado en la sensatez. Sin embargo, hay poca evidencia empírica de los efectos del turismo sobre el paisaje y esta relación constituye un importante componente de la conectividad vertical paisaje-socioeconomía. El método aquí comentado permite combinar diferentes evaluaciones de un mismo área: la evaluación de las unidades de paisaje llevada a cabo por expertos ambientales y la valoración del paisaje por los visitantes. Los mapas señalan la distri-

bución de las preferencias de los visitantes y las posibles áreas de visita de diferentes tipos de visitantes, el grado de satisfacción con sus preferencias actuales y potenciales, el grado de correspondencia o ajuste entre el conjunto de demandas y la capacidad potencial del territorio para satisfacerlas. De hecho, los visitantes de Madrid no perciben o prefieren el mismo paisaje que el basado en criterios ecológicos. Esto debería tenerse en cuenta en la futura gestión del territorio. Este enfoque puede contribuir a establecer políticas específicas o estrategias para el desarrollo del turismo basados en la gestión territorial y el paisaje, proporcionando una referencia útil para el diseño de una planificación turística racional.

b) Els Ports-Maestrat

Como en el caso anterior, se caracterizó numéricamente el paisaje, las preferencias de los visitantes, la interacción entre las características del paisaje y estas preferencias y se cartografiaron los patrones potenciales de ocio y recreo. La zona seleccionada para el estudio es reconocida como de alto valor ecológico y atractivo cultural. Tiene una extensión menor (2.000 km²) que el territorio de Madrid, 27 municipios con núcleos de población pequeños y signos evidentes de abandono rural. El territorio es muy heterogéneo a escala de detalle, integrado por elementos importantes del patrimonio histórico, rural, cultural y natural. Aproximadamente el 12% del territorio ha sido protegido como Reserva Natural La Tinença de Benifassà, destacando en todo el territorio elementos únicos, como cadenas montañosas, una extensa matriz boscosa, impresionantes barrancos, ríos, páramos, una singular agricultura y ganadería y fauna muy variada e interesante desde el punto de vista naturalista y cinegético (Fig. 65). El turismo basado en estos elementos llega a ser mucho más atractivo que otros modelos de turismo habituales y constituye actualmente una nueva forma de uso de la tierra con el paisaje como referencia.

El territorio se sectorizó en unidades espaciales discretas derivadas del análisis de información sobre patrones y elementos del paisaje fácilmente apreciables por cualquier observador –tipos de vegetación, usos agrícolas, peculiaridades geomorfológicas, tipología de la fauna, especies biológicas emblemáticas, elementos únicos del patrimonio rural, histórico o artístico del paisaje local–. Van der Zee⁽²⁷⁸⁾ cree que estas características del paisaje «son recursos sólo cuando el hombre los identifica y utiliza como tales, de manera que los servicios recreativos se pueden considerar como un resultado de esos recursos». Se georreferenció esta información con la resolución espacial de una malla de 1 × 1 km, teniendo en cuenta el tamaño promedio de las unidades espaciales de paisaje razonablemente homogéneas y reconocibles en el territorio. El tamaño de estas cuadrículas permitió registrar un número razonable de atributos del paisaje e identificar algunos patrones-tipo de paisaje, siendo, por otra parte, un tamaño de malla común en la integración de datos para la planificación y el seguimiento ambiental⁽²⁷⁹⁾.

Para cada celda, se calculó la cobertura espacial de las variables de cada unidad temática territorial. Así, cada punto del territorio es un vector que contiene datos cuantitativos sobre las variables de paisaje –una matriz de 2.167 observaciones (cuadrículas) x 30 variables (elementos del paisaje considerados como «atractores turísticos potenciales»)–. Este sistema de coordenadas de referencia es una unidad territorial mínima o escala «local», a partir de la cual se puede extrapolar el análisis de paisaje a diferentes niveles de descripción –«municipios», «regiones», «áreas protegidas» o «sectores ecológicos»–.

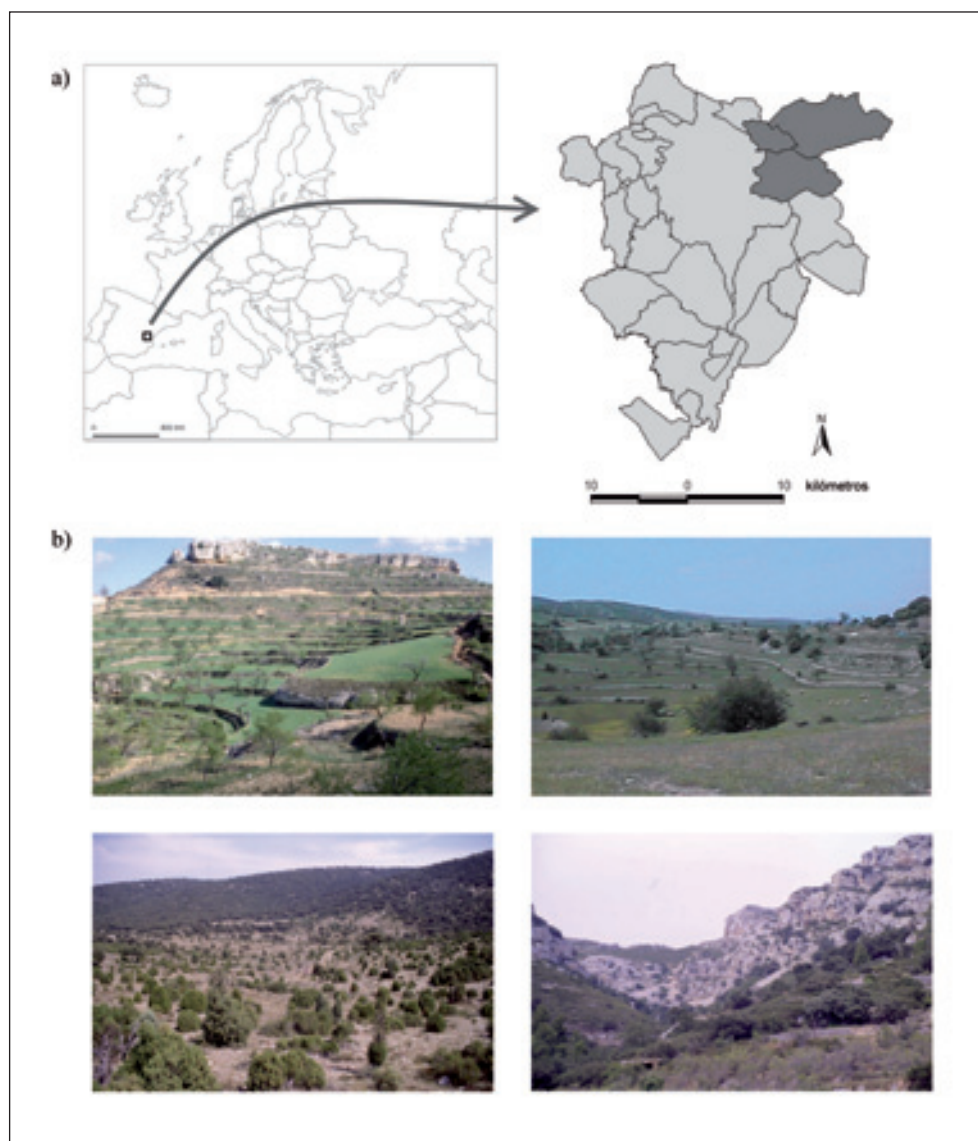


Figura 65. a) Ubicación de la zona estudiada en Els Ports-Maestrat, provincia de Castellón y límites municipales. Los municipios que componen la Reserva Natural de la Tinença de Benifassà se muestran en gris oscuro. Las escalas a las que se realizó el estudio fueron local (cuadrículas de 1x1 km), municipal y a detalle de áreas protegidas-no protegidas. b) Paisajes culturales-rurales (arriba) o con aspecto de naturales (abajo).

- *Percepción y preferencias.* Los cuestionarios se basaron en un número limitado de preguntas de fácil y rápida respuesta. Los entrevistados fueron personas que ya habían visitado la zona antes de responder a los cuestionarios y éstos trataban aspectos relacionados con el perfil sociológico de los visitantes y sus actitudes y preferencias por el paisaje. El muestreo abarcó la heterogeneidad del paisaje en las aldeas, puntos

Tabla 9. Características del paisaje del territorio Els Ports-Maestrat consideradas como atractores turísticos y frecuencia de respuesta de los visitantes (%) a preguntas sobre sus preferencias por 30 atractores turísticos*.

<i>Variables territoriales*</i>	<i>Visitantes culturales-rurales</i>	<i>Visitantes generalistas</i>
Carácter del clima	70,59	41,26
Patrimonio histórico-artístico	79,68	13,61
Fiestas tradicionales y populares	40,58	16,22
Artesanía	51,69	32,43
Gastronomía	70,53	40,54
Terrenos agrícolas	21,15	3,42
Frutales	24,37	30,16
Olivares	28,91	15,72
Viñedos	14,87	4,96
Huertas	20,38	0,00
Cultivos herbáceos	20,38	0,00
Matorrales	33,75	10,56
Pastizales	40,17	10,82
Zonas arboladas y bosques	68,65	38,03
Pinares	62,21	18,84
Encinares	58,66	50,71
Sabinars	44,20	3,11
Vegetación de ribera	53,39	8,02
Interés faunístico**	53,27	19,43
Rebaños y ganadería	34,12	10,97
Paisaje montañoso	79,61	62,34
Paisaje mesetario	30,15	2,78
Valles	52,36	11,22
Cañadas y caminos	55,62	10,57
Muelas	49,40	38,30
Cuevas	57,05	23,81
Barrancos	44,74	11,04
Ríos y ramblas	60,76	22,16
Fuentes	57,07	38,37
Láminas de agua y embalses	50,41	4,93

* Cada cuadrícula de 1x1 km del territorio contiene información cuantitativa, expresada como porcentaje de ocupación, en estas 30 variables.

** Valorado a partir de la riqueza de especies y del número de especies emblemáticas.

de información turística y áreas de atracción de numerosos visitantes por sus valores naturalísticos, histórico-artísticos y culturales-rurales y zonas de camping. La población local fue excluida. Como en el territorio de Madrid se detectaron distintos tipos de visitantes con percepción del territorio particular, caracterizada por variables que indican sus preferencias y opiniones sobre las características del paisaje consideradas en los cuestionarios. Se cuantificaron las preferencias por los diferentes elementos del paisaje de los diferentes tipos de visitantes. Estos tipos se identificaron mediante el cálculo de las frecuencias de sus respuestas a las preguntas sobre las características de paisaje con expresión espacial. Estas características son atractores turísticos (Tabla 9) y expresaban cuantitativamente la demanda natural y cultural de los diferentes tipos de visitantes.

- *Interacción espacial «paisaje-preferencias de los visitantes»*. Los resultados de los análisis de cuantificación de la potencialidad turística del paisaje y tipificación de los visitantes según sus preferencias sirven para calcular la relación entre las características del paisaje y la demanda recreativa. La expresión espacial en mapas de los vectores de la matriz producto permite establecer patrones de la distribución preferente de los visitantes en el territorio y, por tanto, de la medida en que su demanda recreativa puede ser satisfecha.

El análisis espacial y la representación cartográfica de la interacción entre el paisaje y las preferencias de ocio y recreo se pueden realizar a diferentes escalas: local (1 x 1 km de las cuadrículas de la malla de referencia); municipal y a nivel de áreas naturales protegidas-espacio no protegido. En los últimos dos niveles, el cálculo se basa en matrices de paisaje cuyos elementos son las variables de paisaje en cada municipio y en cada unidad territorial dentro y fuera de área protegida, respectivamente.

Las variables que indican los recursos turísticos del territorio, según sus valores naturales y culturales, permiten caracterizar los atractores de los visitantes y analizar e identificar la relación entre el paisaje y la demanda de ocio y recreo a esas escalas. La mencionada malla de 1 x 1 km es la referencia de máxima resolución y la base sobre la que se calculó el patrón espacial de los visitantes a otras escalas –la municipal y la relativa al territorio protegido y no protegido–. Las variables discriminantes (Tabla 10) permiten definir grupos de visitantes, así, las respuestas positivas de los «culturales-rurales» a las preguntas referentes a las características de paisaje frecuentemente superan el 50%, mientras que los «generalistas» rara vez valoran estas características. En el primer grupo, las características más atractivas del paisaje son las montañas, el patrimonio histórico-artístico, el clima, la gastronomía, los bosques y los ríos. Es curioso lo poco que estas características interesan a los visitantes «generalistas».

Pueden cartografiarse los patrones potenciales de ocio y recreo de los visitantes junto con las posibilidades de cambio de escala y estimar la relación espacial entre paisaje y posibilidades de recreo, de acuerdo con los valores de satisfacción potencial, clasificados en cuadrículas, municipios y área protegida o no (Fig. 66). En todos los casos, el valor medio y alto predomina en los visitantes «culturales-rurales», mientras que en los «generalistas» se ven bajos niveles de satisfacción. Independientemente del patrón espacial de los visitantes, ningún tipo de visitantes presenta diferencias notables entre zona protegida y no protegida. El recreo y el ocio se han considerado como tipos importantes de usos territoriales, diferenciándose unidades espaciales de acuerdo con los recursos recreativos que ofrecen^(141,278). La caracterización del paisaje basada en su potencial recreativo y su atractivo implica la identificación y cuantificación de un conjunto de variables analíticas y sintéticas con referencia espacial que pueden ser fácil y rápidamente percibidas por los visitantes^(9,246), de manera que el análisis de los componentes perceptibles del paisaje constituye una caracterización del «fenosistema», es decir, de la apariencia del paisaje^(101,187).

La malla de referencia empleada y el conjunto de características del territorio proporcionan la base para caracterizar el paisaje para su uso recreativo y de ocio. Las variables que indican la potencialidad del paisaje para el turismo permiten identificar los atractores a diferentes escalas (Fig. 66) utilizables para diferenciar los niveles de de-

Tabla 10. Variables discriminantes de dos grupos de visitantes de Els Ports-Maestrat. Clasificación a partir de la encuesta de preferencias de paisaje y motivos de visita a la zona. Las variables representadas por letras indican la posibilidad de clasificar a ciertas preguntas en los niveles: alto (A), medio (M) o bajo (B). Los criterios para seleccionar las variables discriminantes se basan en valores de constancia (C) y fidelidad (F) $\geq 25\%$. Se indican también las variables comunes de ambos grupos.

a) Visitantes culturales rurales (n=595)	C (%)	F (%)	Visitantes generalistas (n=89)	C (%)	F (%)
Motivos familiares (B)	45,08	37,28	Ocio, recreo y vacaciones (M)	32,41	25,09
Actividad profesional (B)	54,21	49,03	Tratamientos de salud (A)	37,32	28,09
Ocio, recreo y vacaciones (A)	83,72	59,72	Precio (A)	36,78	23,21
Contemplación del paisaje (A)	82,67	73,26			
Contacto con la naturaleza (A)	58,12	48,33			
Mundo rural (A)	39,92	37,62			
Patrimonio histórico-artístico (A)	55,35	42,08			
Actividades deportivas (B)	41,86	37,31			
Tratamientos de salud (B)	55,42	44,79			
Asistencia a cursos (B)	65,59	49,81			
Fiestas populares (B)	36,21	26,12			
Artesanía (M)	32,42	22,26			
Gastronomía (A)	44,03	31,12			
Accesibilidad (B)	40,17	40,37			
Precio (M)	42,37	26,15			
Valoran el paisaje general	49,79	34,21			
Paisaje rural	49,08	32,93			
Paisaje mesetario	30,32	27,78			
Valles	52,43	42,02			
Vías pecuarias	56,07	46,23			
Formaciones geológicas	33,27	25,12			
Cuevas	55,71	32,10			
Hoces	44,13	34,21			
Ríos	60,08	38,97			
Embalses	49,22	43,77			
Matorrales	32,82	22,56			
Prados	40,25	30,02			
Zonas arboladas	68,74	32,20			
Pinares	62,26	4,86			
Sabinars	43,05	41,30			
Choperas	52,31	44,07			
Interés por rebaños y ganadería	32,92	23,39			
Interés por la fauna	34,37	28,75			
Interés por las aves	56,09	35,16			
Interés por otros animales salvajes	45,16	32,40			
Interés por especies emblemáticas	51,72	33,76			
b) Variables comunes	Visitantes culturales rurales C (%)		Visitantes generalistas C (%)		F (%)
Clima del área (A)	33,08		26,87		6,21
Gastronomía (M)	24,81		27,17		2,36
Contemplación de la naturaleza	84,92		69,49		15,43
Paisaje montañoso	79,87		61,71		18,16
Presencia de muelas	49,10		37,28		11,82
Presencia de fuentes	56,08		37,33		18,75
Cultivos de frutales	23,19		29,51		6,32
Encinares	58,02		50,61		7,41
Rutas fotográficas	44,71		39,79		4,92
Senderismo	57,25		43,60		13,65

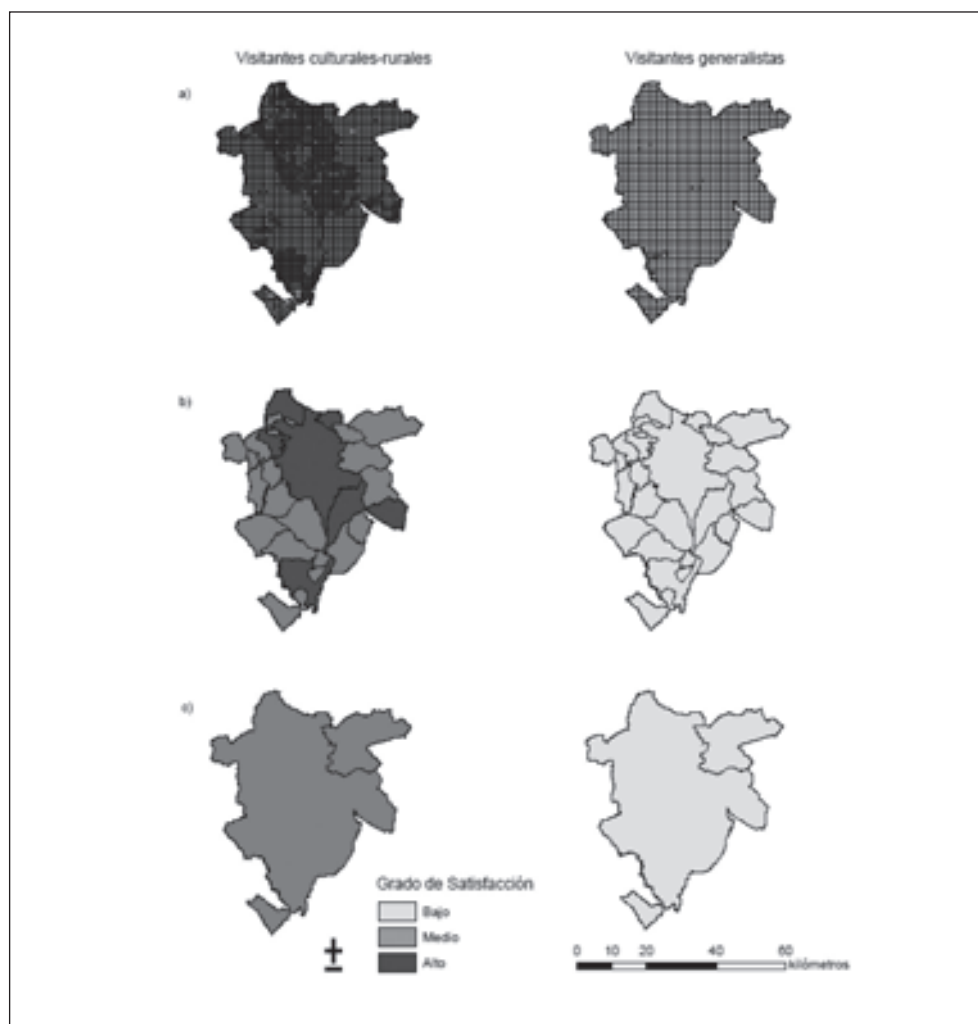


Figura 66. Cartografía multi-escala de los patrones de ocio y satisfacción potencial de los dos tipos de visitantes detectados *a)* a escala local (cuadrículas de 1 x 1 km), *b)* municipal y *c)* diferenciando la Reserva Natural Tinença de Benifassà del resto del territorio contemplado. El grado de satisfacción de los visitantes se muestra como alto, medio y bajo.

talle requeridos para la gestión del turismo y el tipo de planificación que convendría, algo especialmente útil para gestionar las visitas a territorios con áreas protegidas. La planificación debe considerar la capacidad de acogida de las diferentes áreas del territorio y las actividades demandadas por sus visitantes, así que la oferta y demanda de paisaje analizada a diferentes escalas ayuda a una gestión coherente que depende de la producción y de aspectos económicos y sociales y debe incorporar también elementos singulares del paisaje^(84,139). Como se ha comentado antes, a diferencia de los métodos monovariantes, aquí se pueden considerar todos los aspectos que definen la

tipología de visitantes de forma conjunta y destacar los más importantes en su definición. Aunque los visitantes presentan estereotipos del turismo en general –hay turistas especialistas y generalistas–, en sus preferencias tienen en cuenta las características culturales-rurales del paisaje y el patrimonio histórico-artístico. Todos destacan la importancia de la naturaleza como elemento clave del turismo en la zona visitada. Las principales diferencias entre los grupos generalmente implican el ámbito de los requisitos específicos demandados: los visitantes «culturales-rurales» parecen ser más activos y muestran interés por un gran número de elementos del paisaje y las actividades relacionadas con el entorno natural y rural. La tipología de los visitantes, con sus diferentes actitudes y demandas, debe ser considerada en la planificación. El conocimiento de esto es importante para un turismo sensato (planificación de nuevas estrategias de uso del paisaje, organización de los visitantes, conocimiento de las tendencias de evolución del turismo y de la demanda recreativa^(107,145,252,288)). Al evaluar la demanda de recreo junto con la percepción global de los paisajes debe considerarse la demanda analizando tanto elementos concretos del territorio –colinas, ríos, pinares, praderas– como características generales –valle estrecho o amplio, macizo montañoso, desierto– para que la caracterización permita conocer y cartografiar preferencias expresables a diferentes escalas. Otros procedimientos de interpretación de las preferencias de paisaje se basan en el análisis de imágenes a nivel global o mediante su composición^(57,184).

La complejidad de la interacción «perceptores-paisajes» viene a señalar la antes señalada dificultad en el enfoque sistémico (*system-oriented*) de la investigación del paisaje⁽²⁷¹⁾. En el procedimiento aquí comentado la relación espacial entre el atractivo potencial del paisaje para los turistas y las preferencias de los visitantes se puede establecer con diversos grados de ajuste. El máximo sería el que corresponde al paisaje que contiene una composición óptima de las características preferidas por un determinado tipo de visitante, cuya expresión cartográfica puede mostrar a diferentes escalas los patrones de recreo y ocio basados en la satisfacción potencial de las preferencias.

Los tipos de visitantes de este área muestran grandes diferencias en sus actitudes y preferencias, reflejadas en el elevado contraste de sus patrones de satisfacción y ocio a las escalas consideradas. Los resultados también detectan diferencias en la valoración del paisaje entre distintas personas: visitantes, administradores de los recursos y responsables políticos, a menudo responsables del diseño de los ENP. Como se ha visto, los límites de estos espacios no siempre coinciden con el paisaje percibido y utilizado por la población local o los visitantes, algo ya señalado de diferentes formas en numerosos estudios^(27,38,51,166), siendo evidente que los métodos de planificación de recreo deberían incluir una evaluación de lo visual, natural, rural y cultural, elementos singulares del paisaje, preferencias de visitantes y demandas, y análisis de la relación entre oferta y demanda como fundamento de las decisiones de gestión. Esto es una de las principales bases de la ordenación y planificación del uso turístico de una región y del diseño y la zonificación de ENP. Además, los gestores de la tierra deben incluir la participación pública para orientar la gestión de los recursos recreativos, considerando los costes y beneficios, así como la manera en que los visitantes se perciben a sí mismos en la afección y el impacto de los recursos^(46,174,202). Así, en el estudio de caso comentado, la actividad de los gestores debe tener en consideración la demanda que

Estudio de casos

tienen los «visitantes rurales-culturales», específica y más variada que la que muestran los «visitantes generalistas». Igualmente, los criterios que permiten diferenciar entre visitantes «culturales-rurales» y «generalistas» aconsejan al gestor tener presentes las características que tienen en el área variables como las relacionadas con el clima, la gastronomía o el interés por el disfrute de la naturaleza, entre otras. Teniéndolas presentes pueden gestionarse las distintas preferencias en el área.

Desde el punto de vista del director de un ENP esto es útil porque indica cómo los diversos paisajes de un territorio son atractivos para determinados tipos de visitantes y no para todos, es decir, deben preverse distintas directrices específicas de gestión. El estudio también sirve para señalar que los gestores del sector turístico pueden elaborar una «imagen proyectada» entre los visitantes potenciales mediante folletos medios y nuevas tecnologías de marketing teniendo en cuenta que los diferentes tipos de paisajes tienen distintos grupos destinatarios con preferencias y actitudes específicas⁽²³²⁾. Las estrategias de gestión de visitantes pueden, por tanto, desarrollarse en consonancia con esto. Este tipo de resultados también pueden ser útiles en los centros de interpretación de zonas que son altamente atractivas para los visitantes. El escenario en el que el estudio se puede aplicar, obviamente, puede cambiar, pero procedimientos como este son referencias de un sistema de seguimiento que puede proporcionar información útil y necesaria para la gestión. Sobre la base de un enfoque cuantitativo se pueden aplicar diferentes técnicas de validación y explotación de la utilidad cartográfica del procedimiento en la zonificación del paisaje. El método también permite diseñar diferentes estrategias de turismo y la eliminación o potenciación de ciertas actividades y usos del suelo asociados. Este es un aspecto importante considerando el coste ambiental y socioeconómico que suponen. De hecho, el paisaje constituye un recurso esencial en la gestión de la naturaleza silvestre y culturizada, es generalmente muy valorado y obviamente constituye un componente importante como producto turístico cultural y, sobre todo, educativo.

Capítulo 4

BASES JURÍDICAS PARA CONSERVAR LA CONECTIVIDAD: PROPUESTA PARA SU REGULACIÓN Y LA PROTECCIÓN DEL PAISAJE

4.1. Caracterización del problema

a) Bases de la conservación y protección de la naturaleza

La protección de la naturaleza constituye, por sí misma, por razones éticas, un deber de la humanidad y un objetivo esencial en la gestión sensata de los recursos naturales. Tanto la protección de la naturaleza como la gestión de sus recursos deben evitar «presiones de cualquier tipo» que puedan afectar seriamente al entorno: los ecosistemas naturales y culturales.

En la actualidad, admitiéndose que son importantes los logros de la conservación de la naturaleza tanto en el mantenimiento de determinados ENP como en la protección de ciertas especies biológicas, donde quiera que vivan, y que, en ambos casos, se dispone de leyes y normativas adecuadas para ello, es imprescindible incorporar también como objetivo «la protección de las conexiones espaciales que forman parte de las redes ecológicas». Esta meta constituye un reto jurídico que, como se ha visto en apartados precedentes, no concierne sin embargo a un solo tipo de experto –el jurista– sino a la interacción de su conocimiento con el de otros tipos de especialistas, constituyendo la tarea una labor transdisciplinar. Las mencionadas redes existen tanto en continentes como en mares y océanos. Se basan en fenómenos físicos ligados a flujos de materia y energía, en procesos biológicos asociados a trasiegos y migraciones y en procesos culturales. Las acciones para esta protección deben estar dirigidas principalmente a «favorecer y promover la función de estas redes dentro y entre ENP, así como en cualquier espacio físico, particularmente si se reconocen en él elevados valores naturalísticos, productivos o estético-culturales, ya sean estos de importancia regional, nacional o transnacional».

La protección de la conectividad espacial es de suma importancia para la conservación de los espacios naturales, el mantenimiento de la biodiversidad y del conjunto del tejido territorial, se encuentre o no bajo alguna figura de protección. Esta protección permite mantener, dentro de unos límites «aceptables» y «científicamente evaluables» el funcionamiento de los ecosistemas, entre ellos los considerados como más valiosos, y se relaciona estrechamente con fines actualmente admitidos en las políticas ambientales. Estos fines son tales como *i)*

la inclusión entre los objetivos de las políticas sectoriales de la conservación de la biodiversidad, *ii*) la elaboración de estrategias integradas de desarrollo territorial para las zonas protegidas, zonas ambientalmente sensibles y zonas de alta biodiversidad, incluyéndose franjas costeras, regiones montañosas y humedales, *iii*) la protección del suelo como base para el desarrollo de la vida para el hombre, los animales y las plantas, mediante la reducción de la erosión y, en general, de la alteración grave del suelo y *iv*) el diseño de estrategias para la gestión de riesgos en zonas amenazadas de catástrofes naturales. En relación con la finalidad concreta de la conservación de la biodiversidad, la protección perseguida se encuentra con nuevos retos que añaden nuevas actuaciones, en las que tal protección se fundamenta: *v*) la preservación de porciones discretas del espacio que, aunque delimitadas y protegidas, dependen de fenómenos ecológicos que trascienden sus fronteras, *vi*) la protección de especies y razas biológicas donde quiera que se encuentren, en especial las amenazadas y catalogadas, *vii*) el mantenimiento de determinados fenómenos físicos y biológicos considerados claves, *viii*) el mantenimiento de los paisajes conservando la integridad de su función y evitando su fragmentación, *ix*) la protección de dinámicas espaciales, corredores y pasillos que permitan la continuidad de tramas ecológicas horizontales y verticales del tipo analizado en el presente libro y *x*) la intervención ambiental en las obras de infraestructuras, prestándose una atención específica a los «puntos de tensión» entre la red viaria y las redes ecológicas y culturales rurales, también analizados en el libro.

Jurídicamente serían objeto de excepción determinados hábitats que mantengan mecanismos propios de autorregulación y en los que la afección a su aislamiento se reconozca como un inconveniente (circunstancia que cualquier análisis ecológico matizaría como singularidad propia de los procesos de conectividad).

Se admite que la conservación de la biodiversidad exige el cumplimiento de acciones de protección de corredores biológicos y ciertas zonas de reconocido interés, como, por ejemplo, determinadas zonas sensibles, sean costeras, fluviales, montañosas o de llanura; el establecimiento en las zonas rurales de una mayor sinergia entre los objetivos de desarrollo económico y las necesidades de la conservación de la biodiversidad y la cultura rural de la que ésta pueda depender; así como la evitación de interferencias importantes de las infraestructuras humanas en los ecosistemas, la fragmentación de hábitats, el aislamiento genético, las migraciones y las tramas culturales rurales.

Las interferencias entre las infraestructuras civiles y determinados componentes de la naturaleza, han de ser, pues, resueltas con criterios medioambientales y de integración paisajística. En todo caso, debe someterse a control cualquier actuación o actividad que, por interferir seriamente en la conectividad espacial, pueda afectar a los recursos naturales, dentro o fuera de las áreas protegidas, definiéndose los posibles puntos de tensión entre red ecológica e infraestructuras humanas, caracterizándose estos puntos y la afección de zonas sensibles por ruptura de funcionalidad ecológica. El mencionado control se justifica porque las infraestructuras humanas pueden afectar seriamente al territorio en cuya integridad la propia sociedad humana está interesada, afección que tiene lugar si se interceptan fenómenos físicos y procesos ecológicos importantes —la red territorial de flujos naturales (físicos y biológicos) y culturales rurales que constituyen la conectividad ecológica «horizontal»; las interdependencias entre la estructura cultural del paisaje y sus usuarios humanos («conectividad vertical» establecida entre paisaje y socioeconomía)—.

Puede considerarse que los procedimientos habituales de la EIA no son enteramente satisfactorios a los efectos aquí considerados, por no contemplar debidamente las circunstancias mencionadas (ver también apartado 3.6). A lo sumo, sería procedente tener en cuenta la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente («evaluación ambiental estratégica, EAE») pues se define como objeto de esta ley (artículo 1) «promover un desarrollo sostenible, conseguir un elevado nivel de protección del medio ambiente y contribuir a la integración de los aspectos ambientales en la preparación y adopción de planes y programas, mediante la realización de una evaluación ambiental de aquellos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente». Aunque no debe ser fácil para un juez aplicar esta ley con una objetividad aceptable por todos, dados los contenidos subyacentes en las asunciones del artículo, sobre todo con perspectivas científicas, técnicas, económicas, etc.), es probablemente útil contemplarla, especialmente el Anexo I, donde, al fijar el contenido del informe de «sostenibilidad ambiental», se entreve la opción de introducir factores como la conectividad (apartados b, c, d, f) y el Anexo II,2, que determina los criterios para valorar la «significación de los efectos significativos», donde podría encontrar cabida la conectividad territorial como efecto a ser considerado.

Por su parte el artículo 1 del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, al que se refiere el Apéndice 11 de este libro, en su nueva redacción dada por la Disposición final primera de la Ley 9/2006 indica que «la evaluación del impacto ambiental identificará, describirá y evaluará de forma apropiada, en función de cada caso particular y de conformidad con este Real Decreto Legislativo, los efectos directos e indirectos de un proyecto sobre los siguientes factores: *a)* el ser humano, la fauna y la flora, *b)* el suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje, *c)* los bienes materiales y el patrimonio cultural, *d)* la «interacción» entre los factores mencionados anteriormente». También sería apropiado tener en cuenta los criterios del Anexo III,3 («Características del potencial impacto del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental») donde la conectividad territorial, podría «entenderse aludida». Existiendo la duda de la falta de formalización de este fenómeno con la que los autores de este anexo debieron encontrarse en la fecha de su redacción, en el Anexo I, Grupo 2,6 se comentan «explotaciones situadas en ENP o en un área que pueda “visualizarse” desde cualquiera de sus límites establecidos, o que supongan un “menoscabo” a sus valores naturales».

La conectividad debe contemplarse, en todo caso, dentro de la dimensión ambiental de la planificación de infraestructuras y en el diseño del modelo territorial y socioeconómico. Para ello, debe establecerse un procedimiento adecuado que tenga presente la dinámica de los ecosistemas y la conectividad entre los componentes de ésta. Se considera con carácter excepcionalmente importante y de especial relevancia la protección ecológica y paisajística de las «carreteras singulares», consideradas así por atravesar ENP, mediante la incorporación de criterios ambientales orientados a la evitación o minimización de las posibles afecciones del entorno de la carretera. Las infraestructuras se configuran sectorialmente en: infraestructuras de transporte de personas y mercancías, energéticas y de telecomunicaciones. Ya se indicó en apartados precedentes que en sus fases de planificación, contratación de obras, ejecución, explotación y seguimiento, los planes, proyectos, programas y actuaciones han de someterse a declaración ambiental en cualquiera de sus fases, siempre que puedan afectar al medio ambiente. La planificación de infraestructuras debe ser informada por «planes ambientales» para evitar efectos considerados serios y negativos y promover los positivos que determinadas

actuaciones públicas o privadas puedan tener sobre los recursos naturales y la calidad de vida humana, adoptándose criterios ambientales y paisajísticos. Esta finalidad se enmarca en la idea de «desarrollo económico sostenible» que, aunque carece de una definición única, se refiere siempre a la persistencia de los recursos naturales que sustentan el desarrollo. Por todas estas consideraciones, en relación con la conectividad territorial, parece obvio que hayan de adoptarse medidas de protección del paisaje y de los sistemas ecológicos que lo sustentan, tanto naturales como culturales, que permitan la coordinación de trazados, ejecución y mantenimiento de carreteras, vías férreas, vías navegables y otras infraestructuras.

b) Fundamentos y justificación de la protección jurídica de la conectividad

La conservación de la naturaleza contiene logros importantes en la delimitación de ENP y en la protección de determinadas especies biológicas, pero éstos son insuficientes por no tomar en consideración la dinámica territorial de ciertos procesos ecológicos importantes. Esto se hace patente en la interacción de las infraestructuras humanas con la funcionalidad de las tramas ecológicas territoriales. En el territorio español concurren algunas de las regiones europeas de carácter silvestre mejor conservado y las de mayor diversidad biológica. Esta circunstancia constituye una razón de peso para gestionar sistemáticamente el mantenimiento de su diversidad biológica, geológica y paisajística incorporando en la gestión la idea de conectividad ecológica. La incorporación debe hacerse de forma sistemática. Las administraciones deben comprometerse en ello y ayudarse de leyes y normativas adecuadas. Hay iniciativas válidas, como la acometida en Andalucía con la «red de espacios naturales protegidos», RENPA¹³. También se ha puesto en marcha en España una animada dialéctica «matriz territorial-ENP» como objeto de la conservación de la naturaleza en comarcas y espacios metropolitanos concretos⁽³⁵⁾, pero falta aún un desarrollo sistemático de la idea. La escala a la que contempla el territorio la Red Natura 2000 constituye un logro importante, pero no llega a incorporar al concepto de conservación los fenómenos dinámicos territoriales que conciernen a la conectividad.

Las conexiones ecológicas territoriales (conectividad), por permitir la funcionalidad del territorio mediante flujos físicos y ecológicos, son fundamentales para la conservación de los valores que se reconocen en los ENP, las especies biológicas y el paisaje, por ello es necesaria su consideración como figura de protección establecida jurídicamente. Los Convenios internacionales en vigor, la política y regulación normativa europea, así como diversas instituciones y asociaciones de ámbito europeo e internacional, establecen en sus estrategias y programas un conjunto de objetivos, conceptos y acciones con la finalidad prioritaria de la conservación y protección de la naturaleza y sus especies biológicas. Lo establecido en sus disposiciones y programas constituye un sólido fundamento, quizás suficiente para sustentar la incorporación de la conectividad como figura de protección a las ya existentes, tal como la presente propuesta pretende. Dentro del conjunto de preceptos y acciones recogidas en las disposiciones y programas mencionados, a los efectos de la presente propuesta, se encuentran:

- la conservación de la vida salvaje y sus hábitat naturales,
- la conservación de especies migratorias incluidas sus áreas de reproducción, invernada, alimentación, etc.,

¹³ Entre los estudios de base de esta red se encuentran los inicios de la investigación aportada al presente libro.

Bases jurídicas para conservar la conectividad: propuesta para su regulación y la protección del paisaje

- la protección de la diversidad biológicas, el desarrollo económico y los valores culturales,
- la prevención, reducción, eliminación y compensación de los efectos negativos de las actividades que representan factores amenazantes para las especies,
- el reconocimiento de la importancia de la diversidad biológica para la evolución y mantenimiento de los sistemas necesarios para la biosfera,
- la identificación de los procesos y categorías de actividades que pudieran tener efectos adversos para la diversidad biológica,
- el establecimiento y mantenimiento de la legislación necesaria y otras disposiciones reguladoras para la protección de especies y poblaciones amenazadas,
- la regulación de los recursos biológicos de interés para la conservación de la diversidad biológica ya sea dentro o fuera de los ENP,
- la aplicación del principio de precaución al problema de la destrucción y fragmentación de los hábitat y ecosistemas,
- el establecimiento de una unidad entre el área protegida y las zonas adyacentes,
- el mantenimiento de áreas con ecosistemas representativos que aseguren la continuidad evolutiva y los procesos ecológicos incluyendo la migración y los flujos genéticos,
- la protección y gestión de los elementos del paisaje que revistan primordial importancia para la fauna y flora silvestre, referido a elementos esenciales para la migración, distribución geográfica e intercambio genético,
- la prevención de la contaminación, la fragmentación de los hábitat y la desertización.

Por otra parte, con referencia a las infraestructuras humanas y la estrategia territorial europea, se establecen como opciones políticas:

- la integración en las políticas sectoriales del mantenimiento de la biodiversidad (lo que incluye la elaboración de estrategias integradas de desarrollo territorial para las zonas protegidas, zonas sensibles y zonas de gran biodiversidad como, por ejemplo, las costeras, las regiones montañosas y los humedales),
- la incorporación de la dimensión ambiental al proceso de planificación y proyectos de infraestructuras mediante la aplicación de la legislación vigente en materia de EIA (es procedente mencionar aquí la EAE ya aludida, incorporada al Derecho interno por la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente),
- el sometimiento al análisis de incidencia ambiental para el estudio de las posibles afectaciones al medio y paisaje procedente de las infraestructuras viarias.

La necesidad de regular y proteger las conexiones ecológicas territoriales no sólo se justifica, sin embargo, por lo anteriormente expuesto sino además porque *i)* actualmente no se abordan debidamente las relaciones ecológicas entre espacios y entornos, *ii)* tampoco se contemplan las conexiones de unas porciones del espacio con otras constituyendo tramas en las que intervienen fenómenos físicos, biológicos y culturales rurales, *iii)* las escasas alusiones a

los «posibles corredores ecológicos» lo son con referencia a la movilidad de las especies, sin referir específicamente otros procesos ecológicos importantes, *iv*) carecen de protección aquellos procesos ecológicos que trascienden el espacio protegido, *v*) no se contemplan debidamente las estructuras, lineales o no, continuas o no, que permiten la movilidad de las especies, ni los puntos de enlace, *vi*) no se contemplan elementos del paisaje vitales para la conservación de la fauna y flora silvestres, *vii*) no se considera específicamente la funcionalidad de los procesos constitutivos del paisaje, *viii*) a los efectos de la conectividad, no se incluyen debidamente criterios ambientales en la regulación de las infraestructuras.

Parece, pues, fundamental *establecer como figura de protección las redes espaciales coherentes que aseguran la conservación de la naturaleza y su biodiversidad, así como la regulación de las conexiones ecológicas territoriales que mantienen a los distintos tipos de paisajes*. Se ha considerado en apartados anteriores que los procedimientos habituales de EIA no son enteramente satisfactorios a los efectos aquí considerados por no contemplar debidamente la circunstancia de la conectividad. Sin existencia de tramas ecológicas se considera imposible la conservación de la naturaleza.

La Ley Estatal de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres (Ley 4/89 de 27 de marzo), en su régimen jurídico protector de los recursos naturales, se inspira, de hecho, aunque no desarrolla el concepto, en la idea rectora de la conservación de la naturaleza, entendida como «el medio en el que se desenvuelven los procesos ecológicos esenciales y los sistemas vitales básicos». Conviene, al respecto, tener en cuenta la Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitat naturales y de la fauna y flora silvestres, que en su artículo 10 establece que: «Cuando lo consideren necesario, los Estados miembros, en el marco de sus políticas nacionales de ordenación del territorio y de desarrollo y, especialmente, para mejorar la coherencia ecológica de la red Natura 2000, se esforzarán por fomentar la gestión de los elementos del paisaje que revistan primordial importancia para la fauna y la flora silvestres, como aquellos elementos que, por su «estructura lineal y continua» (como los ríos con sus correspondientes riberas o los sistemas tradicionales de deslinde de los campos), o por su papel de puntos de enlace (como los estanques o los sotos) resultan esenciales para la migración, la distribución geográfica y el intercambio genético de las especies silvestres».

La preservación de la diversidad genética, el aprovechamiento sostenido de las especies biológicas y de los ecosistemas y la preservación de la variedad, singularidad y belleza de los ecosistemas naturales y del paisaje, son otros de los principios inspiradores de la ley.

En el contenido relativo a los PORN se establece una delimitación del ámbito territorial objeto de ordenación, descripción e interpretación de sus características físicas y biológicas y estado de conservación de sus recursos naturales, así como el sometimiento al régimen de EIA a aquellas actividades, obras e instalaciones a las que les sea de aplicación. En esta delimitación, descripción e interpretación no se especifican claramente los fenómenos y procesos que determinan la conectividad ecológica y la necesidad de su protección.

En su artículo 10 (de los espacios naturales protegidos) la Ley contempla la protección de estos espacios en función de unas finalidades, entre las que destacan: constituir una red representativa de los principales ecosistemas y regiones naturales existentes en el territorio nacional y contribuir a la supervivencia de comunidades o especies necesitadas de protección, mediante la conservación de sus hábitat.

En su artículo 27, en relación con la preservación de la diversidad genética, entre otros criterios, la Ley da preferencia a las medidas de conservación y preservación del hábitat natural de determinadas especies biológicas considerando la posibilidad de establecer medidas complementarias «fuera del mismo». También da prioridad a las especies y subespecies endémicas, así como a aquellas otras cuya área de distribución sea muy limitada y a las migratorias. Como fundamentos a destacar hay, en todo caso, que mencionar:

- la idea rectora de conservación de la naturaleza, que incluye el mantenimiento de los «procesos ecológicos y los sistemas vitales básicos»,
- la preservación de la diversidad genética, considerando la posibilidad de establecer medidas complementarias «fuera» de los hábitat naturales,
- la constitución de una «red» representativa de los principales ecosistemas y regiones naturales existentes en el territorio nacional,

Aunque en muchos de los precedentes citados se utiliza la idea de «red», su concepción se orienta esencialmente a aspectos relacionados con la gestión y el manejo, intercambios de experiencias e información, *pero no propiamente a la funcionalidad ecológica territorial* y a los fenómenos físicos y procesos biológicos y culturales rurales que la mantienen. No se abordan pues, debidamente, la conservación y protección de especies biológicas y procesos ecológicos fuera de los límites de los ENP a pesar que estos mismos quedan frecuentemente afectados por la gestión inadecuada de tales procesos.

Merece analizarse la Ley 8/1998, de 25 de junio, de Conservación de la Naturaleza y de Espacios Naturales de Extremadura, que contempla como figuras de indudable valor y alcance los corredores ecológicos y de biodiversidad. Se acude a su carácter de hábitats que permiten la conexión entre ENP. Las finalidades de la ley destacan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos, así como la biodiversidad, la singularidad y diversidad de los paisajes y la preservación del patrimonio genético de las poblaciones de flora y fauna. El artículo 16 de esta norma incluye, dentro de las categorías que establece para la protección de los recursos naturales (apartado f, corredores ecológicos y de biodiversidad), la definición de éstos como: «elementos del paisaje de extensión variable cuya disposición y grado de conservación general revisten primordial importancia para la fauna y flora silvestres, ya que permiten la continuidad espacial de enclaves de singular relevancia para las especies, con independencia de que tales enclaves hayan sido o no declarados protegidos». Esta definición aparece en el artículo 22,1. Tanto la estructura lineal y continua de estos elementos como los puntos de enlace pueden resultar esenciales para la migración, la distribución geográfica y el intercambio genético de las especies silvestres. Podrán ser declarados como «corredores ecológicos y de biodiversidad» entre otros: los cursos y masas de aguas y sus zonas ribereñas, las cadenas montañosas, masas de vegetación, zonas de llanura y los sistemas tradicionales de deslinde de los campos, así como los estanques y sotos o las zonas de tránsito de aves migratorias.

Añade esta ley que la declaración de protección de los corredores ecológicos ha de permitir una «vertebración más coherente y una implantación más afianzada de la Red de ENP y de su biodiversidad» (artículos 22,2 y 22,3).

Aunque la conectividad considerada en el presente libro es más exigente, por estar basada en una caracterización precisa de las conexiones espaciales posibles, debe referirse al respecto la consideración de «corredores ecoculturales» (del artículo 26 de esta ley): «1. las cañadas y

otras vías pecuarias, atendiendo, entre otros criterios, a su ubicación, grado de conservación, utilización originaria y usos alternativos, podrán tener la consideración de corredores ecológicos (o “ecoitinerarios”). En tal caso se desarrollarán las medidas tendentes a su delimitación, conservación y uso sensato sin menoscabo de las competencias a que hubiera lugar en cada caso, en virtud de su legislación específica. 2. Asimismo, podrán tener este reconocimiento aquellos caminos o vías de comunicación que, de conformidad con su historia, tradición, zonas por las que transite u otras razones análogas que resalten sus fundamentales valores ambientales, permitan un uso no lesivo del territorio ni de las explotaciones agrarias. 3. En uno y otro caso predominarán los usos ganaderos y otros complementarios, por lo cual no se autorizará la circulación rodada de ningún tipo de vehículo a motor, salvo para los usos ganaderos, los usos agrarios en el caso del artículo 26,2, o para su vigilancia y mantenimiento».

Interesa señalar que con base en la Ley 8/1998, se han declarado en Extremadura varios corredores ecológicos¹⁴.

Por su parte, la Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la flora y fauna silvestres de Andalucía, en su artículo 18, relativo a la protección de los hábitats y otros elementos del paisaje, establece:

- «La administración de la Junta de Andalucía fomentará la conservación de los elementos de los hábitat de las especies silvestres y las relaciones entre los mismos con el objeto de asegurar un “equilibrio dinámico que garantice la biodiversidad”».
- «Para permitir la comunicación entre los elementos del sistema, evitando el aislamiento de las poblaciones de especies silvestres y la fragmentación de sus hábitat, “se promoverá la conexión mediante corredores ecológicos y otros elementos constitutivos de los mismos”, tales como: la vegetación natural, los bosques-ista o herizos, los ribazos, las vías pecuarias, los setos arbustivos y arbóreos, los linderos tradicionales, las zonas y líneas de arbolado, las ramblas, los cauces fluviales, las riberas, los márgenes de cauces, las zonas húmedas y su entorno y, en general, todos los elementos del medio que puedan servir de refugio, dormitorio, cría y alimentación de especies silvestres».
- En relación con la protección de las zonas marinas, se refieren a medios de marea, acantilados, playas, marismas, dunas y demás hábitat costeros.
- En los artículos 20 y 21 se establece la intervención de la administración andaluza en situaciones de daño o riesgo y en materia de utilización de sustancias tóxicas.
- Asimismo, en lo relativo a las infraestructuras y barreras a la circulación de la fauna (artículo 22), «los órganos competentes de la administración promoverán el establecimiento de las normas técnicas ambientales necesarias aplicables en las actuaciones o infraestructuras, para minimizar su previsible impacto sobre las especies silvestres y sus hábitat, incluida la circulación de las poblaciones de fauna silvestre y sobre la ca-

¹⁴ i) Decreto 136/2004, de 2 de septiembre, por el que se declara Corredor Ecológico y de Biodiversidad el Río Bembezár; ii) Decreto 62/2003, de 8 de mayo, por el que se declara el Río Guadalupejo como Corredor Ecológico de Biodiversidad; iii) Decreto 63/2003, de 8 de mayo, por el que se declara al Entorno de los Pinares del Tiétar Corredor Ecológico y de Biodiversidad; iv) Decreto 105/2001, de 10 de julio, por el que se declara el Corredor Ecológico y de Biodiversidad Río Alcarrache.

lidad paisajística del medio natural». Incluye también la adopción de «medidas para permitir la libre circulación de la fauna silvestre tanto en el medio terrestre como en el acuático».

El Decreto 201/2001, de 11 de septiembre –sobre autorizaciones para la instalación, modificación o reforma de las infraestructuras de telecomunicaciones en parques y parajes naturales y en montes públicos de la Comunidad Autónoma de Andalucía– tiene por objeto el establecimiento del condicionado técnico de las autorizaciones medioambientales de infraestructuras de telecomunicaciones situadas en los parques y parajes naturales y en montes públicos, para cuyo fin considera necesario «la adecuación ambiental plena de las infraestructuras de telecomunicaciones, la protección de la avifauna, la adecuación paisajística de las infraestructuras y la restauración del espacio natural afectado».

Según se establece en la Ley 7/94, de 18 de mayo, de Protección Ambiental de Andalucía, las actuaciones públicas o privadas, consistentes en la realización de planes, programas, proyectos de construcción, instalación y obras o de cualquier otra actividad incluida en los Anexos I, II y III habrán de someterse a los procedimientos de evaluación establecidos en dicha ley.

El Decreto 94/2003, de 8 de abril, por el que se modifica y aprueba el Reglamento de Evaluación Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía, modifica los Anexos de los Decretos 292/1995, de 12 de diciembre y 153/1995, de 30 de abril y somete a lo establecido en el Reglamento a los proyectos de infraestructuras de transporte y obras marítimo-terrestre.

Los PORN de Andalucía prohíben toda actividad susceptible de alterar «los elementos y la dinámica de los sistemas naturales» adoptándose las medidas necesarias para la protección de la gea, flora, fauna, paisaje, aguas y demás elementos naturales. Someten a lo dispuesto en la normativa sectorial vigente las infraestructuras, energéticas y cualesquiera otras, sin perjuicio de la aplicación de la normativa en materia de EIA.

Los respectivos avances presentados caracterizan, tipifican y reconocen la necesidad de proteger la conectividad en la RENPA y se establecen las directrices técnicas para integrar las obras civiles en la conectividad ecológica territorial, teniendo en cuenta tanto la dinámica territorial y su proyección espacial como la envergadura de determinadas infraestructuras instaladas fuera de los ENP. Todo esto pone, pues, en evidencia la intención de los legisladores de que la conservación de la naturaleza no haya de limitarse únicamente a la protección de los ENP y de las especies biológicas.

Desde un marco jurídico, los preceptos y acciones establecidos en las diversas disposiciones y programas en el ámbito internacional, europeo y nacional, reconocen la importancia que tiene la diversidad biológica para la evolución y el mantenimiento de los sistemas de la biosfera, la regulación de los recursos biológicos y procesos ecológicos relevantes dentro o fuera de las áreas protegidas, la aplicación del principio de precaución y el establecimiento de la legislación necesaria y otras disposiciones que regulen la protección de las especies biológicas, sus hábitat y los procesos ecológicos incluyendo la migración y los flujos genéticos. No obstante, no se tienen debidamente en consideración las conexiones de unas porciones del espacio con otras para constituir tramas de procesos físicos biológicos y culturales rurales, careciendo de adecuada protección aquellos que trascienden los límites del espacio protegido.

Constituye un precedente importante la consideración de los corredores ecológicos y de biodiversidad por la citada Ley 8/1998 de Extremadura, con un enfoque principal para la fauna y flora silvestre. Su inclusión dentro de las categorías que establecen la protección de los recursos naturales y la consideración de los puntos de enlace esenciales para la distribución geográfica y el intercambio genético de las especies silvestres, suponen un gran avance para la protección de la naturaleza y mantenimiento de la red territorial. Representa, por tanto, un fundamento con el suficiente peso específico para la inclusión de las tramas ecológicas territoriales como figura de protección.

Con carácter jurídico más relevante y avanzado está lo dispuesto en la normativa de Andalucía. Podría ser de extraordinaria relevancia lo establecido en la Ley 8/2003, de 28 de octubre de la flora y fauna silvestres de Andalucía, en su pretensión de asegurar un «equilibrio dinámico» que garantice la biodiversidad fundamentado en la conservación y las relaciones entre los hábitat de las especies silvestres. Para evitar el aislamiento de las poblaciones y la fragmentación de sus hábitats, se promueve la conexión mediante el establecimiento de corredores ecológicos y otros elementos constitutivos de los mismos.

En relación con las infraestructuras, tanto el sometimiento a la EIA, como el establecimiento del condicionado técnico de las autorizaciones medioambientales contemplados en el Decreto 201/2001, de 11 de septiembre, y en el Plan Director de Infraestructuras de Andalucía 1997-2007, representan un fundamento suficiente que justifica la prevención de las tensiones que pueden producirse entre las tramas ecológicas y la red viaria. El modelo territorial contempla la red ecológica territorial como base de protección, así como la red de infraestructuras de transporte actual y en desarrollo.

La idea fundamental e inspiradora de la Ley Estatal de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres (Ley 4/89, de 27 de marzo), enfocada a la protección de la naturaleza como el medio en el que se desenvuelven los procesos ecológicos esenciales y los sistemas vitales básicos, incluyendo el paisaje, incorpora implícitamente en la consideración de la naturaleza, «todos aquellos elementos y procesos que son esenciales para el mantenimiento de los sistemas vitales básicos, y que posibilitan la funcionalidad del tejido territorial».

El propio contenido de los PORN destaca entre sus finalidades, la de constituir una red representativa de los principales ecosistemas y regiones naturales existentes en el territorio nacional. Aunque delimita el espacio objeto de ordenación, considera la posibilidad de establecer medidas complementarias fuera del mismo, en aras de la adopción de medidas de conservación y preservación de los hábitats naturales, y de la protección de la gea, flora, fauna, paisaje, aguas y demás elementos naturales.

Entre los precedentes conviene también considerar la Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitat naturales y de la fauna y flora silvestres, así como el Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitat naturales y de la fauna y flora silvestres. Éste último en su artículo 7 prevé que las Administraciones públicas «deberán esforzarse por fomentar la gestión de aquellos elementos del paisaje que revistan primordial importancia para la fauna y la flora silvestres y en particular las que, por su estructura lineal y continua, como son las vías pecuarias, los ríos con sus correspondientes riberas o los sistemas tradicionales de deslindes, o por su papel de puntos de en-

lace, como son los estanques o los sotos, son esenciales para la migración, la distribución geográfica y el intercambio genético de las especies silvestres». Aunque no se cita expresamente en concepto de «corredor», este texto se aproxima a algunas de las acepciones de esta idea.

Como precedente también podría citarse que la Comunidad Autónoma de Valencia está utilizando en algunos PORN el concepto de «corredor», identificando estructuras lineales que conectan espacios protegidos, con algunas medidas de gestión. Lo mismo ocurre en Castilla y León y en Castilla La Mancha. Así el Decreto 76/2001, de 2 abril, Aprueba el PORN de la Sierra de Mariola (Valencia) y en el artículo 31 se cita (Deslinde, amojonamiento y obras de adecuación): «La Administración competente realizará el deslinde y amojonamiento de las “vías pecuarias” existentes en el ámbito del PORN, dando prioridad a los tramos que atraviesan Áreas Agrícolas y Áreas de Actividades Extractivas y a las que se incluyan en el Catálogo de Vías Pecuarias de Interés Natural de la Comunidad Valenciana, debiendo velar por su mantenimiento como espacios de uso público. Además, deberán realizarse las inversiones necesarias para adecuar las vías pecuarias a sus funciones de corredores ecológicos y a su uso educativo y recreativo».

Igualmente, el Decreto 77/2001, de 2 abril, Aprueba el PORN de la Sierra Calderona (Valencia): Sección 7ª (Protección de las vías pecuarias): artículo 26 (Criterios generales): «1. Las vías pecuarias existentes en el ámbito del PORN se consideran un patrimonio público de primera importancia para los objetivos de conservación natural y de desarrollo sostenible expresados en el Plan, tanto por su carácter de «corredores ecológicos» para la flora y la fauna como por su potencial socioeconómico en relación con el uso público ordenado del medio».

También el Decreto 204/1999, de 21 septiembre aprueba el PORN del Alto Tajo y se inicia el procedimiento de declaración del Parque Natural del Alto Tajo, del Monumento Natural del Nacimiento del Río Cuervo, y de la Microreserva de Flora de los Prados Húmedos de Torremocha del Pinar (Comunidad Autónoma de Castilla y La Mancha). En el capítulo 4 (Zonificación y aplicación de regímenes de protección), se indica: «A partir de este mapa, se ha realizado la zonificación mediante los siguientes criterios: a) Englobar las áreas contiguas o próximas poseedoras de valores muy altos, aprovechando como “nexo de unión” zonas contiguas de valor alto, en el menor número posible de espacios naturales protegidos diferentes, de manera que “se simplifique y homogenice la futura gestión”. b) Utilizar cuando sea posible como “nexo de unión” los cañones y los cauces fluviales, que de hecho constituyen “corredores ecológicos” desde los que “se dirigen flujos de materia y energía que causan interacciones ecológicas efectivas entre las distintas subzonas que comunican”. c) Procurar la inclusión en espacios protegidos del mayor número posible de áreas con valor muy alto, en especial si poseen algún valor natural en exclusividad o considerado raro en el contexto de la zona o regional. d) Procurar que el perímetro final de estas zonas resulte coherente desde los puntos de vista geográfico, hidrográfico, paisajístico o de funcionamiento del ecosistema, que resulte práctico desde el punto de vista de la futura gestión de los espacios protegidos, y que en la medida de lo posible se ajuste a líneas naturales o administrativas fácilmente reconocibles, “y en su defecto a caminos, carreteras o poligonales” definidas por coordenadas de sus vértices. e) No incluir en los espacios protegidos las zonas de mayor interés minero con reservas de sustancias prioritarias que no resulten esenciales para el cumplimiento de los objetivos de conservación, así como los entornos antropizados de los cascos urbanos y las zonas cultivadas situadas en la periferia de los pueblos o en el límite del territorio protegible».

En su medida, también guarda relación con el tema el Decreto 161/1995, de 17 octubre, Aprueba el PORN de la zona oriental de la Manchuela Conquense y declara la reserva natural de las Hoces del Cabriel (Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha).

En conclusión, pueden tenerse particularmente en cuenta los siguientes precedentes:

1. La consideración de los «corredores ecológicos y de biodiversidad» como figura de protección, según se establece en la Ley 8/1998, de 26 de junio, de Extremadura, por su carácter de hábitat que permiten la conexión de ENP, ya que permiten la continuidad espacial de enclaves de singular relevancia para las especies biológicas.
2. La promoción de las conexiones mediante corredores ecológicos y otros elementos constitutivos de las mismas «para evitar el aislamiento de las poblaciones de especies silvestre y la fragmentación de sus hábitat». Así lo contempla, por ejemplo, la Ley 8/2003, de 28 de octubre, de Andalucía, así como otros documentos legales citados en varios ámbitos autonómicos españoles –procede al respecto el sometimiento a la incidencia ambiental de las infraestructuras, con el establecimiento del «condicionado técnico» de las autorizaciones medioambientales (Decreto 201/2001 de 11 de septiembre, Plan Director de Infraestructuras de Andalucía 1997-2007 y Ley 8/2001, de 12 de julio de Andalucía)–.
3. La consideración de la naturaleza como el medio en el que se desenvuelven los «procesos ecológicos esenciales y los sistemas vitales básicos, incluyendo el paisaje», según consta en la Ley 4/89, de 27 de marzo del Estado.
4. La necesidad de «mantener los fenómenos físicos, y biológicos considerados clave, en los que se apoyan procesos ecológicos vectoriales de relevancia espacial para la protección de la naturaleza y de las especies silvestres, manteniendo la trama ecológica territorial».

c) Regulación de la conectividad: marco jurídico y legislativo

Las Comunidades Autónomas, en virtud de sus competencias exclusivas en materia de ENP y en el establecimiento de medidas adicionales de protección, tienen plena competencia para incorporar nuevas figuras de protección diferentes a las establecidas y para establecer los cauces adecuados y regímenes específicos para la declaración, gestión y protección de la figura incorporada. En el caso presente se trataría de la protección de las conexiones ecológicas territoriales, es decir, de la conectividad ecológica del territorio, así como de establecer regímenes específicos para esta protección. En la fecha actual el marco normativo que mejor argumenta y soporta la idea de conectividad, aún sin incorporar los procesos específicos que el presente libro detalla, es la Ley Estatal 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, en cuyo propio preámbulo hace referencia a los «corredores ecológicos». Con la regulación de la figura de «conectividad» puede darse un nuevo impulso a la conservación del medio natural, enfocado al reconocimiento de un bien de la sociedad, con la participación de las distintas Administraciones y sujetos implicados.

La conectividad ecológica –el funcionamiento de las tramas de conexiones ecológicas territoriales– la constituyen «el conjunto de fenómenos físicos y procesos biológicos y culturales rurales que conectan unas porciones del espacio con otras y que, por mantener valores naturalísticos, estético-culturales y productivos notables, merecen ser objeto de protección». A continuación constan las bases para disponer de un decreto sobre su protección.

4.2. Exposición de motivos

Desde que tuviera lugar la «Conferencia de Estocolmo» de 1972, se redactara el «Informe Brundtland» de 1987, se celebrara la «Cumbre de Río» de 1992 y se acordara la «Agenda 21», ha venido cambiando la actitud de las sociedades humanas ante la naturaleza y las características conceptuales del desarrollo económico. Consecuencia de ello son los logros en materia de conservación de la naturaleza, restauración y mejora del medio ambiente para asegurar un desarrollo razonable aplicando prioritariamente el «principio de precaución». La adopción de medidas necesarias y adecuadas que ayuden a preservar los hábitat de interés y la biodiversidad de manera compatible con el desarrollo económico y social viene realizándose a través de instrumentos de planificación, ordenación, manejo y gestión de los recursos naturales de maneras más o menos eficientes.

La configuración de «redes de espacios naturales protegidos», que prevé distintos grados de protección, no es, no obstante, suficiente para la conservación y protección de la biodiversidad y requiere introducir nuevas figuras de protección, tal como contempla la presente propuesta. Por otra parte, los principios directores para el desarrollo territorial razonable de Europa contribuyen a la estrategia de cohesión territorial. Estos principios se basan en la «Carta Europea de Ordenación del Territorio». Este documento de dimensión continental destaca a las infraestructuras de transporte y comunicación con una posición relevante en la ordenación territorial y el desarrollo sostenible de Europa.

Por su parte, el Plan Director de Infraestructuras del Estado Español, incorpora la dimensión medioambiental en los procesos de planificación y proyectos de infraestructuras. Lo hace mediante la aplicación de la legislación vigente en materia de EIA, asumiendo los costes derivados. Adicionalmente, con objeto de disminuir los costes ambientales de las infraestructuras ejecutadas en el pasado, incluye dos programas específicos: uno relativo a «la revegetación de espacios degradados en el entorno de las infraestructuras existentes» y otro sobre «la recuperación de infraestructuras en desuso para su reversión a usos recreativos, sociales o culturales».

La Ley de EIA (RDL 1302/86, de 28 de junio, modificado por el RDL 9/2000, de 6 de octubre, y Ley 6/2001, de 8 de mayo), somete a evaluación a las actividades agropecuarias, industriales, proyectos de infraestructuras, de ingeniería hidráulica y de gestión del agua, de tratamiento y gestión de residuos, entre otras. De hecho, ya hay planes sometidos a evaluación ambiental estratégica (el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes, PEIT, el Programa AGUA, el Plan Sectorial de Carreteras, PSC, entre otros).

La Ley de Carreteras del Estado (Ley 25/88, de 29 de julio y su reglamento RD 1812/94, de 2 de septiembre) no incorpora las variables ambientales, aunque las vías transcurran por ENP.

La Ley 4/89, de 27 de marzo, modificada por las Leyes 40 y 41, de 1997, hace referencia a los procesos y sistemas ecológicos donde se produzcan, sea dentro o fuera del espacio protegido, pero sin especificar debidamente su naturaleza ni establecer la protección de los fenómenos y procesos que mantienen la conectividad territorial.

La Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en medio ambiente.

En la Directiva 92/43/CEE se incorpora el fomento de la gestión de los elementos del paisaje que sean primordiales para la fauna y flora silvestres. Con la finalidad de evitar el aisla-

miento de los hábitats considerados valiosos y su excesiva fragmentación en el seno de espacios alterados y hostiles, se hace mención a las «estructuras lineales y continuas» que permiten la movilidad de las especies biológicas a través de esos espacios.

El VI Programa de Acción incluye la protección, conservación, restauración y desarrollo de los sistemas naturales, incluyéndose humedales y zonas de valor paisajístico y espacios rurales sensibles, evitando la contaminación, la fragmentación de los hábitats y la desertificación.

La mencionada Ley Estatal 42/2007, de 13 de diciembre, que contempla la protección de «corredores ecológicos».

Por su parte, las Comunidades Autónomas, en base a las competencias transferidas y asumidas en sus Estatutos de Autonomía, han venido desarrollando un conjunto de normativas en materia de protección y conservación de la naturaleza, estableciendo y adoptando criterios básicos de planificación, ordenación, organización y protección de los espacios naturales.

En consecuencia, se dispone de las bases suficientes para que la administración puede contar con un *Decreto* para desarrollar y completar la legislación en lo relativo a la conectividad territorial y contribuir así a la conservación del extenso y variado patrimonio natural del territorio. Para ello, pueden proponerse las *Disposiciones Generales* que se detallan a continuación.

1. Objeto, finalidad, ámbito de aplicación, definiciones, tipologías, criterios

Artículo 1. Objeto. La protección de la «conectividad». Esto incluye: *a)* la «conectividad horizontal», derivada del funcionamiento de las tramas de conexiones territoriales, *b)* los «fenómenos físicos horizontales considerados clave»^(101,209,291), *c)* los «corredores biológicos de reconocido interés en la conservación de la biodiversidad», y *d)* la «conectividad vertical» entre la estructura del paisaje rural cultural y la estructura socioeconómica de las poblaciones humanas locales^(54,242,247). Todo lo cual tiene como objeto el desarrollo y ejecución en la legislación estatal y autonómica en lo relativo a la figura de conectividad –conforme a lo establecido en las leyes citadas en la exposición de motivos–, incluyéndose específicamente:

- la protección del agua y sistemas acuáticos minimizando el posible efecto derivado del vertido de contaminantes, la afección a cauces, masas de agua, manantiales sumideros y humedales, destacando la afección a laderas, cuencas hidrográficas y flujos laminares y de otros tipos,
- la protección del suelo, minimizando su pérdida o degradación, especialmente los productivos,
- la protección de la flora y la vegetación, minimizando la afección a las formaciones vegetales, ya sean en su conjunto o individualizadas, de reconocido valor o protegidas, tales como los árboles singulares inventariados en el contexto de sus conexiones territoriales,
- la protección de la fauna, minimizando la afección a su trasiego y a las áreas utilizadas de forma regular y preferente por especies protegidas y relevantes, así como las principales cañadas y vías pecuarias,
- la protección del paisaje, minimizando el impacto visual de las actuaciones y la magnitud de los elementos potencialmente impactantes en el contexto de sus conexiones territoriales,

- la protección de la dinámica de los sistemas de dunas, deltas, estuarios y marismas,
- la protección de la permeabilidad territorial, la afección a los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos,
- la protección de la conectividad ecológica, considerando sus fenómenos físicos, biológicos y culturales,
- la promoción de la conexión ecológica territorial mediante corredores ecológicos y otros elementos constitutivos de los mismos,
- la protección de la interdependencia o «conectividad vertical» entre los elementos que componen el paisaje cultural y la estructura socioeconómica de las poblaciones humanas locales.

Artículo 2. Finalidad. La finalidad perseguida con la introducción de la figura de protección de la conectividad se fundamenta en su protección especial, reconociéndose su primordial función en el mantenimiento de la cohesión territorial y de la biodiversidad. Se considera que la conservación de la naturaleza no es posible sin la protección de los fenómenos naturales que se describen en el Artículo 1 de la presente disposición, debido al papel de tales fenómenos en el mantenimiento del paisaje, la biodiversidad natural y la asociada a la estructura cultural del territorio. Esta protección, en apoyo de la legislación existente sobre: a) espacios naturales protegidos y b) protección de determinadas especies y razas biológicas, donde quiera que se encuentren, consiste en mantener procesos vectoriales físicos, químicos, biológicos y culturales basados en los fenómenos considerados en el Artículo 1, Estos fenómenos serán protegidos siempre que sean considerados «clave» para los espacios y especies ya protegidos y para el mantenimiento de paisajes reconocidos como valiosos.

Artículo 3. Ámbito de aplicación. Será de aplicación a la protección de la naturaleza en el desarrollo de todos los proyectos, actividades e instalaciones a las que actualmente sea de aplicación el régimen de EIA en sus diferentes fases de planificación, proyecto, ejecución, obras, mantenimiento, restauración, vigilancia y control y uso, especialmente cuando puedan verse afectados los procesos ecológicos vectoriales que converjan en ENP, incluyéndose entre ellos los lugares constitutivos de la Red Natura 2000, aunque trasciendan sus límites. La aplicación será rigurosa cuando aquellas actividades intercepten cauces fluviales, torrenteras, cárcavas, ramblas, laderas con buen estado de conservación de sus suelos, valles fértiles, zonas de recarga y descarga de acuíferos, sistemas dunares, áreas de reproducción, alimentación, colonización y dispersión dependientes de la existencia de conexiones ecológicas territoriales asociadas a los fenómenos descritos en el Artículo 1.

Artículo 4. Definiciones.

- a) *Conectividad horizontal.* Derivada del funcionamiento de las tramas de conexiones territoriales, se entiende como «el conjunto de fenómenos físicos y procesos biológicos y culturales que conectan unas porciones del espacio con otras y que, por mantener valores naturalísticos, estético-culturales y productivos notables, merecen ser objeto de protección».
- b) *Fenómenos físicos horizontales.* Son los que, formando parte de estas tramas, originan trasiegos naturales de materia y energía ligados a ciclos biogeoquímicos regionales y locales. Los trasiegos implican:
- b₁) *Fenómenos hidrológicos,* derivados de la acción de la gravedad, asociados al trans-

porte hídrico de nutrientes y a los cambios de estado «vapor-agua-hielo» que determinan: la infiltración del agua en el suelo, la circulación subsuperficial del agua en las laderas, el transporte de nutrientes y la configuración de los distintos tipos de cauces fluviales.

- b₂) *Fenómenos hidrogeológicos*, ligados a: la percolación del agua en acuíferos, la circulación hídrica subterránea y la descarga en humedales.
- b₃) *Fenómenos de transporte eólico*, como los que determinan la dinámica dunar y transporte de propágulos biológicos.
- b₄) *Fenómenos físicos* en todo caso derivados de la participación de la topografía, mesoclima e interceptación hídrica de la vegetación en la conectividad.
- b₅) *Procesos ecológicos*, que incluyen, junto a los anteriores, los derivados de:
 - La presencia de asimetrías entre unidades de vegetación que impliquen *tensiones energéticas* entre ellas debida a diferencias patentes entre sus acúmulos de biomasa y valores de producción biológica. Se consideran como tales las fronteras de separación entre comunidades vegetales de diferente fisionomía. Estas tensiones son altas cuando la acumulación de biomasa es muy diferente a uno y otro lado de la frontera –como, por ejemplo, entre un bosque maduro y una pradera productiva adyacente– y bajas cuando la acumulación es semejante –como, por ejemplo, entre dos tipos de bosques, praderas o matorrales–. Estas circunstancias constituyen formas peculiares de conectividad –por ejemplo, espacios de campeo de alimentación y refugio de herbívoros– cuya rotura debe ser evitada.
 - Los *corredores biológicos*, reconocidos como estructuras que, formando parte de las tramas descritas, están constituidos por porciones del espacio de configuración lineal o no, continuas o no, susceptibles de permitir refugio, trasiego y migración de especies biológicas protegidas a través de ellas. Serán considerados corredores biológicos los lugares capaces de permitir la continuidad espacial de enclaves de singular relevancia, aunque tales enclaves no hayan sido declarados protegidos, siempre que su función como elemento de enlace resulte esencial para el trasiego, migración, distribución geográfica e intercambio genético de las especies protegidas. En todo caso, será determinada la importancia del corredor biológico en los siguientes casos: las estructuras lineales asociadas a riberas; los reticulados culturales formados por setos, ribazos y otras estructuras montaraces notables; las cañadas, veredas y cordeles de la red de vías pecuarias; las franjas no inferiores a 200 m de anchura bordeando cuerdas o divisorias montañosas de elevación superior a 200 m sobre llanuras circundantes; las franjas costeras de 200 m sobre la máxima línea de marea.
- c) *Conexiones clave*. Se refieren a las derivadas de factores ambientales determinantes de las funciones esenciales de los ecosistemas naturales o rurales culturales –por ejemplo, entre los fenómenos físicos: la descarga subterránea para el mantenimiento de determinadas zonas húmedas, el flujo de ladera para el mantenimiento de la fertilidad natural de los valles, etc.; entre los biológicos: la migración y trasiegos locales animales; entre los culturales: la trashumancia, y otras dinámicas rurales agrarias–.
- d) *Zonas sensibles*. Se consideran así aquellas zonas en las que convergen factores ambientales clave, es decir, los ligados a conexiones clave.
- e) *Puntos de enlace*. Son nodos o puntos de conexión entre flujos físicos o biológicos –por ejemplo, montañas y divisiones de aguas, sitios de descargas subterráneas, determinadas zonas bajas de ladera con acumulación de fertilidad, áreas de reproducción, alimentación, dormideros de aves, etc.–.

- f) *Puntos de tensión*. Son lugares de interferencia entre los flujos propios de la conectividad ecológica y la red de infraestructuras humanas –como la desviación del flujo laminar de agua y nutrientes en una ladera por el talud de una carretera; estos puntos pueden ser detectados, por ejemplo, por la acumulación de atropellos de animales en determinados tramos de carreteras, etc., previéndose que la tensión puede paliarse mediante permeabilización adecuada de la carretera, por la construcción de «pasos de fauna», etc.–.
- g) *Puntos de conflicto*. Son los puntos de tensión no resueltos.
- h) *Conectividad vertical*. Está determinada por la interdependencia de la estructura espacial del paisaje rural cultural y la estructura socioeconómica de las poblaciones humanas asentadas en el territorio. De resultar significativa esta interdependencia para el paisaje cultural podrá ser objeto de protección con ayuda de subvenciones, exenciones fiscales, etc.

Artículo 5. Criterios para evaluar la conectividad. Los criterios para evaluar la importancia de la conectividad y, en consecuencia, el interés de su protección, se basarán en factores clave de la funcionalidad ecológica y en la importancia reconocida a la biodiversidad y a los valores culturales de cada lugar. Podrá ser declarado como proceso de conexión ecológica territorial a proteger cualquiera de los fenómenos comprendidos en el Artículo 4 del presente Decreto. Los criterios deberán evaluar: las conexiones clave, la movilidad de las especies y puntos de enlace, los puntos de tensión entre la red ecológica y la red viaria, el establecimiento de grados de compatibilidad de las infraestructuras con los procesos ecológicos, físicos, biológicos y culturales, así como su interferencia con la red ecológica territorial y su integridad paisajística, la identificación de «nodos» y las interacciones que se puedan producir, las tensiones energéticas y los posibles puntos de conflicto. Los criterios han de tener presente la representatividad de los principales ecosistemas y sus ciclos y procesos ecológicos, las formaciones existentes en la región y la representatividad del paisaje cultural.

2. Competencias administrativas y órganos de gestión

Artículo 6. Competencias. La administración podrá establecer regímenes específicos de protección para las especies y comunidades biológicas cuya situación así lo requiera, y en especial, para las conexiones ecológicas territoriales de interés para la conservación de la conectividad que permitan la funcionalidad de la trama territorial y de los procesos ecológicos esenciales. Abarcará la coordinación e impulso del establecimiento y protección de la conectividad y especialmente: la promoción y difusión de la idea de conservación de la conectividad, la tramitación y gestión de la protección de la conectividad, el estudio y elaboración de los proyectos reguladores de la conectividad, la coordinación de las revisiones. Corresponde a las Delegaciones Provinciales la gestión de las medidas de protección de la conectividad declaradas en su ámbito territorial, asumiendo la tutela y control de las mismas.

Artículo 7. Órganos de gestión. La gestión y administración de la protección de la conectividad corresponderá al Órgano Ambiental Sustantivo en materia de Medio Ambiente. Podrán colaborar en la gestión las entidades públicas o privadas cuyos fines estén relacionados con la conservación y protección de la naturaleza y podrán designarse órganos colegiados con carácter consultivo y de asesoramiento.

3. Instrumentos de planificación

Artículo 8. Instrumentos de planificación. Los instrumentos de planificación para la descripción, cuantificación de la importancia y protección de la conectividad, se refieren a:

- a) *Directrices Básicas de Ordenación y Conservación de los Recursos Naturales dentro y fuera de espacios protegidos.* Priorizan la protección frente a otros usos, siendo su objeto el establecimiento y definición de criterios y normas generales de carácter básico que regulan la gestión y protección de las conexiones ecológicas territoriales en relación con la conservación de los recursos naturales, tendrán como principios inspiradores: el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas vitales básicos; la preservación de la biodiversidad, la singularidad y belleza de los paisajes naturales y culturales. Todo ello en función del mantenimiento de los componentes clave de la trama territorial que permita la funcionalidad del sistema.
- b) *Planes de Ordenación de los Recursos Naturales.* 1. Los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales como instrumentos de planificación de ámbito regional definirán y señalarán las conexiones ecológicas territoriales en el ámbito territorial de que se trate. 2. Determinarán las limitaciones y regímenes de protección que procedan. 3. Promoverán la aplicación de medidas de conservación, restauración y mejora. 4. Formularán los criterios orientadores de las políticas sectoriales y ordenadoras de las actividades económicas, social y de infraestructuras públicas y privadas, con el fin de su compatibilidad con las exigencias señaladas.
- c) *Planes Especiales.* Serán establecidos para los casos y situaciones de protección esencial para el mantenimiento de los procesos ecológicos contemplados en el presente Decreto.
- d) *Directrices técnicas.* Serán las indicativas de las medidas necesarias a adoptar para evitar o paliar los impactos negativos de las infraestructuras en la conectividad ecológica.

4. Declaración de protección de la conectividad

Artículo 9. Figura de protección. La inclusión como figura de protección de la conectividad territorial estará sujeta a lo establecido en la declaración de los ENP. La conectividad descrita y declarada para todo el territorio se plasmará en un documento general apoyado en cartografía de los componentes clave de la conectividad ecológica a escala 1:50.000, que servirá de referencia para los EIA exigidos a las actividades de desarrollo y plasmados a escalas de mayor detalle de acuerdo con las características de cada actividad. Contará con un Plan Especial que elaborará la Dirección General correspondiente y aprobará el Gobierno. En el Plan se establecerán las medidas necesarias para la delimitación, protección, señalización y limitación de usos en relación con la protección de la conectividad. La declaración se iniciará de oficio por el Órgano Sustantivo en materia de Medio Ambiente. La iniciación del procedimiento será puesta en conocimiento de los Ayuntamientos afectados así como de los interesados, sean de carácter público o privado.

Artículo 10. Declaración de protección de la conectividad ecológica. La declaración de protección de la conectividad se hará por el Consejo de Gobierno y supondrá la catalogación e incorporación a las bases de datos de los componentes esenciales de la conectividad territorial, previsto en el artículo 12 del presente Decreto.

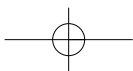
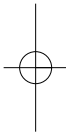
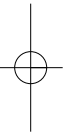
Artículo 11. Efectos de la declaración. La declaración de protección de la conectividad conllevará la de utilidad pública a efectos de expropiaciones de los bienes y derechos afectados, servidumbres forzosas y derechos de tanteo y retracto a favor de la Administración, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 4/89, de Conservación de la Naturaleza y Protección de la Flora y Fauna Silvestres.

5. Registro de protección de la conectividad

Artículo 12. Registro de declaración de conectividad. Se crea el Registro de la Conectividad ecológica territorial, como registro público de carácter administrativo dependiente del Órgano Sustantivo en materia de Medio Ambiente, sin perjuicio de la creación de Registros en las Delegaciones Provinciales.

6. Infracciones y sanciones

Artículo 13. Vulneración. La vulneración de las normas establecidas supondrá la aplicación del régimen sancionador en materia de ENP además de las que se establezcan en el presente Decreto.



Capítulo 5

EPÍLOGO

Puede ser formalizado el conjunto de fenómenos que constituyen buena parte de la conectividad ecológica territorial. Esta propiedad funcional del espacio puede expresarse cartográficamente a escalas de ensayo adecuadas. El detalle de esta escala permite comprender globalmente el proceso, pues en los territorios piloto contemplados se da la suficiente variabilidad climática, topográfica, biológica y de usos rurales como para comparar la variación de los fenómenos estudiados.

La presente monografía se basa en una labor experimental, en buena medida de carácter académico, que persigue establecer un procedimiento general de actuación que pueda ser aplicado a escalas de mayor detalle –disponer del *know how* para trabajos con finalidad más aplicada–. La trama ecológica territorial se ha descrito a través de fenómenos físicos relevantes en el ciclo hidrológico, procesos ecológicos ligados a fronteras asimétricas –acumulaciones desiguales de biomasa y valores diferentes de su tasa de renovación– y a la movilidad de representantes conspicuos de la fauna en relación con la presencia de infraestructuras humanas de transporte.

La conectividad «vertical» paisaje-socioeconomía permite detectar tendencias de cambio en el paisaje cultural. Aquí se ha visto la debida a una variación que contrasta el carácter urbano y el rural, así como la variabilidad interna del territorio agrario. Esto ocurre casi de igual forma tanto en los ENP como en la matriz territorial que los rodea. El abandono es hoy muy patente en el medio rural –«matorralización», sobre todo evidente en zonas forestales abandonadas–. Los modelos paisaje-socioeconomía permiten advertir diferencias entre ENP y matriz territorial circundante y pueden ayudar a evaluar las implicaciones que la evolución socioeconómica o determinadas políticas de actuación tienen sobre el paisaje.

Se ha comparado la interferencia entre la trama ecológica y la que establece la red de infraestructuras de transporte, aportándose información cartográfica. El modelo aplicado permite conocer la importancia relativa de la incidencia potencial de cada actividad relacionada con esta red en el mantenimiento de aquella trama. De esta forma se ha dispuesto de unas indicaciones a tener en cuenta para establecer directrices de «buenas prácticas» en el desarrollo del transporte terrestre. Para ellas puede tomarse como referencia la conservación de la trama ecológica territorial.

En síntesis, puede decirse que los fenómenos físicos y procesos ecológicos que mantienen las conexiones espaciales del territorio deben constituir los objetivos clave de la moder-

Epilogo

na conservación de la naturaleza. La idea debe contemplarse tanto dentro de los ENP como fuera de ellos, compromete a la gestión de los suelos, al ciclo hidrológico y a las tramas biológicas y culturales rurales. La coincidencia encontrada «afección a la conectividad-espacio protegido» refleja probablemente peculiaridades mesoclimáticas y topográficas de estos espacios respecto al resto del territorio que son sensibles al trazado de infraestructuras. La circunstancia invita a iniciar la práctica de técnicas de restauración de la conectividad precisamente en los espacios considerados naturalísticamente más valiosos, extrapolándose la experiencia al resto del territorio.

Las infraestructuras de transporte son elementos fundamentales de la ordenación del territorio que deben incorporar en su diseño y desarrollo la idea de «conectividad ecológica territorial», no debiendo producir interferencias serias en ella. En la concepción de estas infraestructuras la investigación transdisciplinar constituye tanto una inversión en seguridad y eficiencia como el soporte esencial de un desarrollo «sostenible». Las nuevas infraestructuras deben contener entre sus directrices técnicas medidas tecnológicas que optimicen los recursos asociados a la conectividad ecológica territorial.

Por su parte, el auge del turismo rural de los últimos años se ha traducido en un aumento de los negocios dedicados a este fin. Los escenarios de cambio de la estructura socioeconómica, que tienen un reflejo evidente en el paisaje y en su conservación, deben incorporar el turismo como una actividad definitivamente ligada al futuro de la conservación de la naturaleza. Esto concierne a los ENP y a toda matriz territorial que tenga atractivo paisajístico (todas lo tienen en distintos grados, dependiendo del tipo de visitante). El mantenimiento del paisaje rural-forestal en los ENP viene caracterizado socioeconómicamente por los nuevos negocios mencionados, la inmigración interior y la población ocupada en educación. La variación del paisaje agrícola en los ENP se manifiesta en gradientes de productividad desde las áreas transformadas y altas cumbres hasta zonas de producción tradicional. En la matriz territorial hay siempre gradientes con síntomas de abandono rural, salvo en las zonas de producción tradicional. El mantenimiento de estos paisajes culturales requiere, por ejemplo, fomentar cuidados culturales (tierras labradas), cooperativas agrarias y el reforzamiento de la cabaña ganadera.

Jurídicamente existen importantes lagunas que impiden conservar eficazmente la conectividad. No obstante, las leyes y normativas existentes ofrecen posibilidades no llevadas a la práctica. Tanto éstas como las nuevas leyes y normativas apropiadas que es necesario desarrollar deben aplicarse con decisión a la conservación de la conectividad.

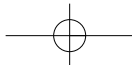
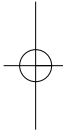
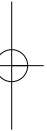
En términos jurídicos debe tenerse en cuenta que en el territorio español concurren algunas de las regiones europeas cuyo carácter silvestre está mejor conservado, constituyendo una razón de peso para gestionar sus valores naturales y paisajísticos incorporando la idea de conectividad ecológica. La incorporación debe hacerse de forma sistemática. Las administraciones deben comprometerse en ello y ayudarse de leyes y normativas adecuadas. El presente libro aporta una caracterización jurídica de la conectividad realizándose una exposición de motivos y aportando las bases de un modelo de decreto.

La escala a la que contempla el territorio la Red Natura 2000 constituye un logro importante, pero no llega a incorporar al concepto de conservación los fenómenos dinámicos territoriales que conciernen a la conectividad. Aunque en leyes y normativas elaboradas para la conservación de la naturaleza y gestión de ENP se emplea con frecuencia la idea de «red», su

concepción se orienta esencialmente a aspectos relacionados con la gestión y el manejo, intercambios de experiencias e información, pero no propiamente a la funcionalidad ecológica territorial ni, mucho menos, a los fenómenos físicos y procesos biológicos y culturales rurales que la mantienen. No se abordan pues, debidamente, la conservación y protección de especies biológicas y procesos ecológicos fuera de los límites de los ENP a pesar que estos mismos quedan frecuentemente afectados por la gestión inadecuada de tales procesos.

Es sin duda conveniente establecer un «observatorio de la conectividad ecológica territorial», OCET. Es decir, importa disponer de una institución independiente que maneje información sobre los fenómenos físicos, biológicos y rurales-culturales que mantienen las conexiones ecológicas esenciales del territorio. Esta institución podrá evaluar permanentemente la importancia de estas conexiones, detectar lugares de tensión con actividades humanas y calificarlas jurídicamente. El observatorio llevará a cabo declaraciones de conectividad ante obras e instalaciones públicas y privadas de manera semejante, aunque más actual, a las «declaraciones de impacto ambiental».

Las consideraciones anteriores deberían traducirse en una renovación de los criterios habituales de la planificación ambiental y la conservación de la naturaleza dentro y fuera de los ENP.



APÉNDICES

Apéndice 1. Definiciones básicas contempladas en la caracterización de infraestructuras de transporte

Aceras. Franja longitudinal de una carretera, elevada o no, destinada al tránsito de peatones.

Año horizonte. Año para cuyo tráfico previsible debe ser proyectada una carretera.

Arcén. Franja longitudinal pavimentada, contigua a una calzada, destinada al uso de vehículos automóviles sólo en circunstancias excepcionales.

Autopista. Carretera especialmente proyectada, construida y señalizada como tal para la exclusiva circulación de automóviles y conteniendo las siguientes características:

- Los terrenos colindantes no tienen acceso a la misma.
- No cruza a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni está cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.
- Consta de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios.

Autovía. Carretera que no reúne todos los requisitos de las autopistas, tiene calzadas separadas para cada sentido de circulación y limitación de accesos a terrenos colindantes. No cruzara a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni es cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.

Berma. Franja longitudinal, afirmada o no, comprendida entre el borde exterior del arcén y la cuneta o talud.

Bombeo. Pendiente transversal de la plataforma en tramos en recta.

Caballero. Lugar donde se depositan sobrantes de desmontes.

Caz. Faja estrecha longitudinal, revestida y con poca profundidad, situada junto a bordillos, en aceras o medianas elevadas, que desagua agua de lluvia a imbornales o sumideros situados a distancias variables, entre 25 y 50 m. A veces se emplean *caces* para prevenir la erosión de terraplenes y mediante un resalte en el borde exterior de una berma.

Apéndices

Calzada. Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Contiene un cierto número de carriles.

Carretera convencional. La que no reúne las características propias de autopistas, autovías y vías rápidas.

Carretera de montaña. Discurriendo por terreno accidentado tiene un tráfico reducido o su funcionalidad es de uso específico (acceso a instalación, turismo, deporte, etc.).

Carretera en espacio natural de «elevado interés ambiental». Discurre por un espacio considerado «natural» donde no es posible disponer de las características geométricas fijadas en Norma sin producir costes ambientales considerados críticos.

Carril. Franja longitudinal en que puede estar dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, con anchura suficiente para la circulación de una fila de automóviles no motocicletas.

Cuneta. Excavación longitudinal en el borde de la carretera sobre el terreno original, generalmente de sección triangular, que separa la vía del terreno colindante y que permite drenar la primera y el segundo (por ejemplo un talud).

Curva de acuerdo horizontal. Curva en planta que facilita el tránsito gradual desde una trayectoria rectilínea a una curva circular, o entre dos curvas circulares de radio diferente.

Curva de acuerdo vertical. Curva en alzado que enlaza dos rasantes de diferente inclinación.

Desmonte. Parte de la explanación situada bajo el terreno original. También denominada *talud*, es la superficie resultante de la excavación en ladera que vierte hacia la vía.

Elemento de trazado. Alineación en planta o alzado que se define por características geométricas constantes en toda su longitud:

- En planta: Recta (acimut constante), curva circular (radio constante) y curva de transición (parámetro constante).
- En alzado: Rasante (pendiente constante) y acuerdo parabólico (parámetro constante).

Eje. Línea que define el trazado en planta o alzado de una carretera. Se refiere a un punto determinado de su sección transversal.

Explanación. Zona de terreno original realmente ocupada por la carretera cuyas características topográficas se han modificado.

Intensidad en hora de proyecto. Número de vehículos por hora que deben poder utilizar una carretera proyectada en el año horizonte y nivel de servicio establecido, para la hora que se establezca.

Intensidad media diaria (IMD). Número total de vehículos que pasan durante un año por una sección transversal de la carretera, dividido por el número de días del año.

Mediana. Franja longitudinal situada entre dos plataformas separadas, no destinada a la circulación.

Nivel de servicio. Medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de una corriente de tráfico; generalmente en función de factores como la velocidad, el tiempo de re-

corrido, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, la comodidad y conveniencia y la seguridad.

Pendiente. Inclinación de una rasante descendente en el sentido de avance.

Peralte. Inclinación transversal de la plataforma de una carretera en tramos en curva.

Plataforma. Zona de la carretera destinada al uso de los vehículos, formada por la calzada, los arcenes y las bermas afirmadas.

Préstamo. Lugar de donde se toman materiales necesarios para la construcción de una carretera.

Rampa. Inclinación de una rasante ascendente en el sentido de avance.

Rasante. Línea de una vía considerada en su inclinación o paralelismo respecto del plano horizontal.

Sección transversal. Corte ideal de la carretera por un plano vertical y normal a la proyección horizontal del eje, en un punto cualquiera del mismo.

Terraplén. Parte de la explanación situada sobre el terreno original.

Velocidad de proyecto de un tramo. Velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado de una vía en condiciones de comodidad y seguridad.

Vía rápida. Carretera de una sola calzada y limitación total de accesos a terrenos colindantes. No cruza a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni es cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.

Apéndices

Apéndice 2. Clases de vegetación y sistemas agrarios «energéticamente forzados» ordenados en función de los valores estimados para la biomasa, *B*.

<i>Variables de vegetación</i>	<i>Valor de B y Pn</i>
Zonas: con fuertes procesos erosivos, incendiadas, sin vegetación por roturación, talas y plantaciones forestales recientes, roquedos y suelo desnudo	1
Superficies construidas y alteradas	1
Playas, dunas y arenales	1
Matorral disperso con pasto y roca o suelo	2
Mosaico de cultivos en secano y en regadío	2
Cultivos herbáceos y pastizales	2
Otros cultivos herbáceos en regadío	2
Pastizal + otras especies arbóreas o mezclas	3
Pastizal + quercíneas dispersas	3
Matorral disperso con pastizal	3
Cultivos herbáceos en secano	3
Pastizal con claros (roca, suelo)	3
Pastizal continuo	3
Zonas húmedas y superficies de agua	3
Cultivos forzados bajo plástico	3
Pastizal + coníferas densas	4
Pastizal + quercíneas densas	4
Otros mosaicos de cultivos y vegetación natural	4
Otros cultivos leñosos en secano	4
Mosaico de cultivos leñosos en secano	4
Cultivos leñosos y vegetación natural leñosa	4
Cultivos leñosos y pastizales	4
Pastizal + coníferas dispersas	4
Cultivos herbáceos y leñosos en secano	4
Cultivos herbáceos y vegetación natural leñosa	4
Cultivos herbáceos y leñosos en regadío	4
Cultivos leñosos en regadío	4
Mosaico de cultivos leñosos en regadío	4
Vegetación riparia	4
Matorral disperso + otras especies arbóreas o mezclas	5
Matorral disperso + coníferas dispersas	5
Olivar	5
Otras especies arbóreas y mezclas	6
Coníferas	6
Matorral denso + otras especies arbóreas o mezclas	6
Matorral denso + quercíneas dispersas	6
Matorral denso + coníferas dispersas	6
Cultivos leñosos abandonados	6
Matorral disperso + coníferas densas	7
Matorral denso + coníferas densas	7
Matorral denso	7
Matorral denso + quercíneas dispersas	7
Matorral disperso + quercíneas densas	8
Quercíneas	9
Matorral denso + quercíneas densas	10

Apéndice 3. Valores estimados de biomasa (B), expresados en t/ha, producción neta (Pn), expresados en t/ha.año, y tasa de renovación de la biomasa (Pn/B) de acuerdo con la pluviosidad del lugar y tipo de formación vegetal. Los valores de biomasa (B) y producción neta (Pn) se corresponden con los de la Figura 19, basada en Odum (1969)⁽¹⁶⁴⁾. La tasa de renovación (Pn/B) se obtuvo del cociente entre aquellos valores.

<i>Clases de pluviosidad</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
	<i>Pr 1</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 2</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 3</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 4</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 5</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 6</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 7</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 8</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 9</i> B Pn Pn/B	<i>Pr 10</i> B Pn Pn/B
• superficies construidas y alteradas • zonas: con fuertes procesos erosivos, incendias, sin vegetación por roturación, talas y plantaciones forestales recientes, roquedos y suelo desnudo • playas, dunas y arenales	0,1 0,1 1	0,2 1 5	0,3 3 10	0,5 1,5 3	1 1 1	1,5 0,3 0,2	2 0,2 0,1	2,5 0,2 0,08	3 0,2 0,07	3 0,1 0,03
	0,2 0,3 1,5	0,3 1,5 5	0,5 4 8	1 2 2	2 0,5	2,5 0,4 0,16	3 0,3 0,1	3,5 0,3 0,09	4 0,2 0,05	4 0,1 0,025
	0,3 0,5 1,67	0,5 2 4	1 5 5	2 2,5 1,25	3 1,5 0,5	3,5 0,5 0,14	4 0,4 0,1	4,5 0,3 0,09	5 0,4 0,06	5 0,2 0,04
	0,5 1 2	1 3 3	2 6 3	3 3,5 1,17	4 2 0,5	4,5 0,5 0,22	5 0,5 0,1	5,5 0,5 0,09	6 0,4 0,07	6 0,3 0,05
	1 1,5 1,5	2 4 2	3 7 2,33	4 4,5 1,13	5 2,5 0,5	5,5 1,5 0,27	6 1 0,17	6,5 0,5 0,15	7 0,4 0,07	7 0,3 0,06
	2 2 1	3 5 1,67	4 8 2	5 5,5 1,1	6 3 0,5	6,5 2 0,31	7 1,5 0,21	7,5 1,5 0,2	8 0,5 0,13	8 0,6 0,06
• vegetación ríparia • otros cultivos leñosos en secano • cultivos leñosos en regadío • mosaico de cultivos leñosos en secano • cultivos herbáceos y leñosos en regadío • mosaico de cultivos leñosos en secano • cultivos herbáceos y vegetación natural leñosa • cultivos leñosos y pastizales • cultivos leñosos y vegetación natural leñosa • otros mosaicos de cultivos y vegetación natural • pastizal + quercíneas densas • pastizal + coníferas densas	0,1 0,1 1	0,2 1 5	0,3 3 10	0,5 1,5 3	1 1 1	1,5 0,3 0,2	2 0,2 0,1	2,5 0,2 0,08	3 0,2 0,07	3 0,1 0,03
	0,2 0,3 1,5	0,3 1,5 5	0,5 4 8	1 2 2	2 0,5	2,5 0,4 0,16	3 0,3 0,1	3,5 0,3 0,09	4 0,2 0,05	4 0,1 0,025
	0,3 0,5 1,67	0,5 2 4	1 5 5	2 2,5 1,25	3 1,5 0,5	3,5 0,5 0,14	4 0,4 0,1	4,5 0,3 0,09	5 0,4 0,06	5 0,2 0,04
	0,5 1 2	1 3 3	2 6 3	3 3,5 1,17	4 2 0,5	4,5 0,5 0,22	5 0,5 0,1	5,5 0,5 0,09	6 0,4 0,07	6 0,3 0,05
	1 1,5 1,5	2 4 2	3 7 2,33	4 4,5 1,13	5 2,5 0,5	5,5 1,5 0,27	6 1 0,17	6,5 0,5 0,15	7 0,4 0,07	7 0,3 0,06
	2 2 1	3 5 1,67	4 8 2	5 5,5 1,1	6 3 0,5	6,5 2 0,31	7 1,5 0,21	7,5 1,5 0,2	8 0,5 0,13	8 0,6 0,06
• matortral disperso con pasto y roca o suelo • cultivos herbáceos y pastizales • mosaico de cultivos herbáceos en regadío • otros cultivos herbáceos en secano • cultivos herbáceos y leñosos en secano • mosaico de cultivos leñosos en regadío • cultivos herbáceos y vegetación natural leñosa • cultivos leñosos y pastizales • cultivos leñosos y vegetación natural leñosa • otros mosaicos de cultivos y vegetación natural • pastizal + quercíneas densas • pastizal + coníferas densas	0,1 0,1 1	0,2 1 5	0,3 3 10	0,5 1,5 3	1 1 1	1,5 0,3 0,2	2 0,2 0,1	2,5 0,2 0,08	3 0,2 0,07	3 0,1 0,03
	0,2 0,3 1,5	0,3 1,5 5	0,5 4 8	1 2 2	2 0,5	2,5 0,4 0,16	3 0,3 0,1	3,5 0,3 0,09	4 0,2 0,05	4 0,1 0,025
	0,3 0,5 1,67	0,5 2 4	1 5 5	2 2,5 1,25	3 1,5 0,5	3,5 0,5 0,14	4 0,4 0,1	4,5 0,3 0,09	5 0,4 0,06	5 0,2 0,04
	0,5 1 2	1 3 3	2 6 3	3 3,5 1,17	4 2 0,5	4,5 0,5 0,22	5 0,5 0,1	5,5 0,5 0,09	6 0,4 0,07	6 0,3 0,05
	1 1,5 1,5	2 4 2	3 7 2,33	4 4,5 1,13	5 2,5 0,5	5,5 1,5 0,27	6 1 0,17	6,5 0,5 0,15	7 0,4 0,07	7 0,3 0,06
	2 2 1	3 5 1,67	4 8 2	5 5,5 1,1	6 3 0,5	6,5 2 0,31	7 1,5 0,21	7,5 1,5 0,2	8 0,5 0,13	8 0,6 0,06

Apéndices

Apéndice 4a. Especies consideradas en el estudio faunístico. Las siglas indican el estatus de conservación de las especies según criterios de la UICN (CR: peligro crítico de extinción, EN: peligro de extinción, VU: vulnerable).

Género	Especie	Nombre vulgar	Andalucía	Clase
<i>Salamandra</i>	<i>salamandra</i>	Salamandra común	VU	ANFIBIOS
<i>Alytes</i>	<i>dickhilleni</i>	Sapo partero bético	VU	ANFIBIOS
<i>Emys</i>	<i>orbicularis</i>	Galápago europeo	VU	REPTILES
<i>Testudo</i>	<i>graeca</i>	Tortuga mora	EN	REPTILES
<i>Lacerta</i>	<i>scheiberei</i>	Lagarto verdinegro	CR	REPTILES
<i>Algyroides</i>	<i>marchi</i>	Lagartija de Valverde	VU	REPTILES
<i>Coronella</i>	<i>austriaca</i>	Culebra lisa europea	EN	REPTILES
<i>Vipera</i>	<i>latasti</i>	Víbora hocicuda	VU	REPTILES
<i>Botarus</i>	<i>stellaris</i>	Avetoro común	CR	AVES
<i>Ixobrychus</i>	<i>minutus</i>	Avetorillo común	VU	AVES
<i>Ardeola</i>	<i>ralloides</i>	Garcilla cangrejera	CR	AVES
<i>Ardea</i>	<i>purpurea</i>	Garza real	VU	AVES
<i>Ciconia</i>	<i>nigra</i>	Cigüeña negra	EN	AVES
<i>Plegadis</i>	<i>falcinellus</i>	Morito común	EN	AVES
<i>Platalea</i>	<i>leucocordia</i>	Espátula común	VU	AVES
<i>Marmaronetta</i>	<i>angustirostris</i>	Cerceta pardilla	CR	AVES
<i>Netta</i>	<i>rufina</i>	Pato colorado	VU	AVES
<i>Aythya</i>	<i>nyroca</i>	Porrón pardo	CR	AVES
<i>Oxyura</i>	<i>leucocephala</i>	Malvasía cabeciblanca	EN	AVES
<i>Elanus</i>	<i>caeruleus</i>	Elanio común	VU	AVES
<i>Milvus</i>	<i>milvus</i>	Milano real	CR	AVES
<i>Nephron</i>	<i>percnopterus</i>	Alimoche común	CR	AVES
<i>Aegypus</i>	<i>monachus</i>	Buitre negro	EN	AVES
<i>Circus</i>	<i>aeruginosus</i>	Aguilucho lagunero	EN	AVES
<i>Circus</i>	<i>pygargus</i>	Aguilucho cenizo	VU	AVES
<i>Aquila</i>	<i>adalberti</i>	Águila imperial ibérica	CR	AVES
<i>Aquila</i>	<i>chrysaetos</i>	Águila real	VU	AVES
<i>Hieraetus</i>	<i>fasciatus</i>	Águila-azor perdicera	VU	AVES
<i>Pandion</i>	<i>haliaetus</i>	Águila pescadora	VU	AVES
<i>Falco</i>	<i>peregrinus</i>	Halcón peregrino	VU	AVES
<i>Álula</i>	<i>cristata</i>	Focha cornuda	CR	AVES

Apéndice 4a. (Continuación)

<i>Género</i>	<i>Especie</i>	<i>Nombre vulgar</i>	<i>Andalucía</i>	<i>Clase</i>
<i>Tetrax</i>	<i>tetrax</i>	Sisón común	VU	AVES
<i>Otis</i>	<i>tetrax</i>	Avutarda común	CR	AVES
<i>Burhinus</i>	<i>oedicnemus</i>	Alcaraván común	VU	AVES
<i>Glaerola</i>	<i>pranticola</i>	Canastera común	EN	AVES
<i>Charadrius</i>	<i>alexandrinus</i>	Chorlitejo patinegro	EN	AVES
<i>Sterna</i>	<i>albifrons</i>	Charrancito común	VU	AVES
<i>Chlidonias</i>	<i>niger</i>	Fumarel común	CR	AVES
<i>Pterocles</i>	<i>orientalis</i>	Ganga Ortega	EN	AVES
<i>Pterocles</i>	<i>alchata</i>	Ganga ibérica	VU	AVES
<i>Columba</i>	<i>oenas</i>	Paloma zurita	EN	AVES
<i>Streptopelia</i>	<i>turtur</i>	Tórtola europea	VU	AVES
<i>Caprimulgus</i>	<i>europaeus</i>	Chotacabras gris	VU	AVES
<i>Apus</i>	<i>caffer</i>	Vencejo cafre	VU	AVES
<i>Alcedo</i>	<i>atthis</i>	Martín pescador	VU	AVES
<i>Dendrocopos</i>	<i>minor</i>	Pico menor	EN	AVES
<i>Chersophilus</i>	<i>duponti</i>	Alondra de dupont	EN	AVES
<i>Cercotrichas</i>	<i>galactotes</i>	Alzacola	EN	AVES
<i>Phoenicurus</i>	<i>phoenicurus</i>	Colirrojo real	VU	AVES
<i>Monticola</i>	<i>saxatilis</i>	Roquero rojo	VU	AVES
<i>Atelerix</i>	<i>algerius</i>	Erizo moruno	EN	MAMÍFEROS
<i>Neomys</i>	<i>anomalous</i>	Musgano de Cabrera	EN	MAMÍFEROS
<i>Talpa</i>	<i>occidentalis</i>	Topo ibérico	VU	MAMÍFEROS
<i>Canis</i>	<i>lupus</i>	Lobo ibérico	CR	MAMÍFEROS
<i>Lutra</i>	<i>lutra</i>	Nutria paleártica	VU	MAMÍFEROS
<i>Lynx</i>	<i>pardinus</i>	Lince ibérico	EN	MAMÍFEROS
<i>Capra</i>	<i>pyrenaica</i>	Cabra montés	VU	MAMÍFEROS
<i>Capreolus</i>	<i>capreolus</i>	Corzo	VU	MAMÍFEROS
<i>Sciurus</i>	<i>vulgaris</i>	Ardilla roja	VU	MAMÍFEROS
<i>Arvicola</i>	<i>sapidus</i>	Rata de agua	VU	MAMÍFEROS
<i>Chyonomys</i>	<i>nivalis</i>	Topillo nival	EN	MAMÍFEROS
<i>Microtus</i>	<i>cabrerae</i>	Topillo de Cabrera	CR	MAMÍFEROS

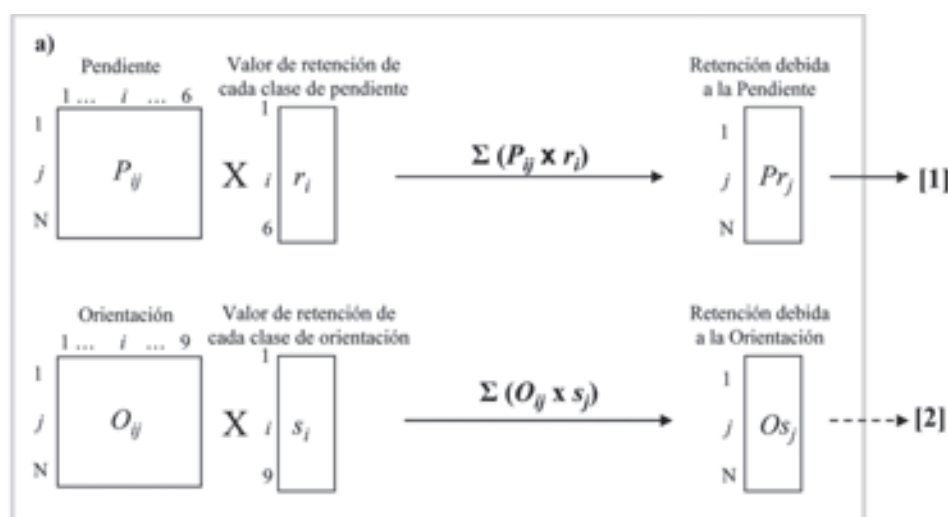
Apéndices

Apéndice 4b. Grupos de especies resultado de los análisis sucesivos de ordenación y clasificación y variables de movilidad que los caracterizan. Se indica el valor asignado a cada grupo en relación con esas variables.

<i>Grupos</i>	<i>Especies</i>	<i>Valor de movilidad</i>	<i>Variables discriminantes</i>
1	Buitre negro Vencejo cafre Águila imperial ibérica Águila real Garza real Halcón peregrino Águila-azor perdicera Alimoche común Águila pescadora	10	Movilidad en su hábitat ALTA Capacidad ALTA de superar obstáculos Capacidad ALTA de reacción Velocidad del animal ALTA Altura ALTA de desplazamiento sobre el suelo
2	Milano real	9	
3	Martín pescador Chorlitejo patinegro Aguilucho lagunero occidental Aguilucho cenizo Elanio común Colirrojo real Espátula común Morito común	8	Movilidad en su hábitat ALTA Capacidad ALTA de superar obstáculos Capacidad ALTA de reacción Velocidad del animal ALTA
4	Lobo ibérico Corzo Cabra montés Lince ibérico Ardilla roja	7	
5	Alcaraván común Alzacola Alondra de dupont Cigüeña negra Paloma zurita Avutarda común Ganga ibérica Ganga Ortega Tórtola europea Sisón común	6	Grado BAJO de uso de la vía (en alimentación o refugio) Movilidad en su hábitat MEDIA Capacidad MEDIA de superar obstáculos Capacidad MEDIA de reacción Velocidad del animal MEDIA
6	Lagartija de Valverde Rata de agua Chotacabras gris Lagarto verdinegro Topillo de Cabrera	5	

Apéndice 5. Secuencia de cálculo de la resultante de la conectividad estimada con los parámetros considerados

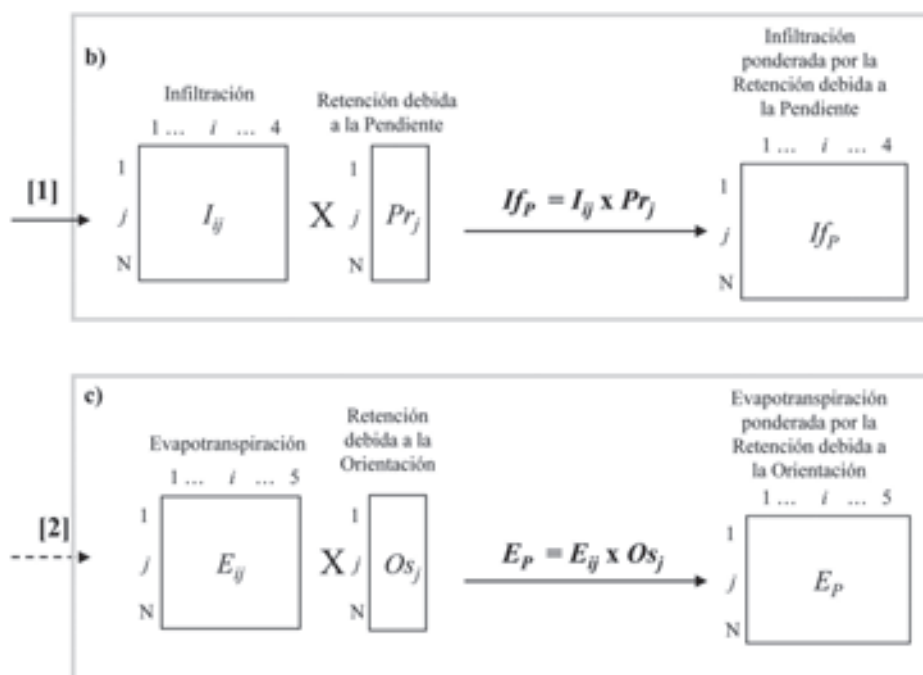
a) Valoración de la contribución de la pendiente y la orientación a la retención de agua en cada celda i (P_{ij} y O_{sj} , respectivamente) mediante los sumatorios de productos $\Sigma (P_{ij} \times r_i)$ y $\Sigma (O_{ij} \times s_j)$, donde P_{ij} es el valor de cada clase de pendiente i en cada cuadrícula j , r_i el valor de retención de cada clase de pendiente i , O_{ij} el valor de cada clase de orientación i en cada cuadrícula j y si el valor de retención de cada clase de orientación i . En el estudio realizado, N representa 9.015 cuadrículas o celdas 2×2 km (98.181 en el ensayo realizado a escala de detalle mediante celdas de 100×100 m; Fig. 43b, c).



Apéndice 5. Continuación.

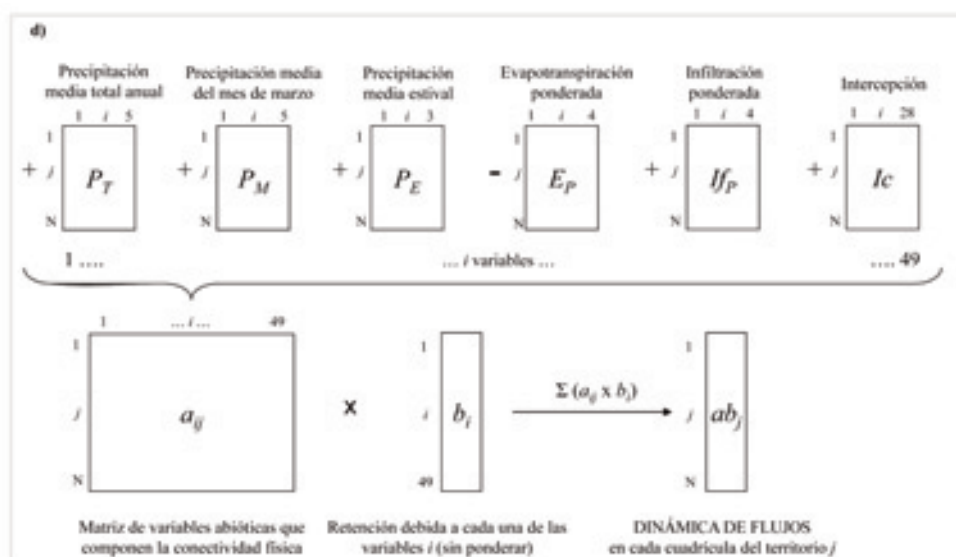
b) Ponderación de la infiltración por la retención de agua debida a la pendiente del terreno (Pr_j ; Fig 29c): If_p , donde I_{ij} representa el valor de cada clase de infiltración i en cada cuadrícula j .

c) Ponderación de la evapotranspiración por la retención de agua debida a la orientación del terreno (Os_j): E_p , donde E_{ij} es el valor de cada clase de evapotranspiración i en cada cuadrícula j .



Apéndice 5. Continuación 2.

d) La matriz (a_{ij}) cuyas variables, i , constituyen: una serie de *inputs* hídricos a la cuadrícula –precipitación media anual, P_T , precipitación invernal, P_M , y estival, P_E –, dos factores de ralentización del flujo hídrico en la cuadrícula –intercepción del agua por la vegetación, I_c , e infiltración odálica ponderada por la pendiente, I_{fp} – y un *output* hídrico de la cuadrícula –evapotranspiración ponderada por la orientación E_p – (considerado con signo negativo). El producto de esta matriz por un vector (b_i), cuyos componentes indican el valor de retención de agua que tiene cada una de las clases de las variables, i (las no ponderadas previamente, ya que estas ya tienen incorporado el valor de retención), permite obtener un vector resultante de la dinámica de flujos territorial.



Apéndice 6. Esquema usado como referencia inicial en el trabajo de gabinete de ingenieros y ecólogos para la estimación de impactos parciales (Δv_{ci}) de los componentes de las infraestructuras de transporte sobre los de la conectividad ecológica (apartados 2.2, 2.3).

AFECCIONES BÁSICAS DE LAS INFRAESTRUCTURAS APRECIADAS EN EL TERRITORIO ESTUDIADO																		
DESCRIPTORES DE INFRAESTRUCTURAS	COMPONENTES QUE AFECTAN A LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA																	
	1.- Ocupación suelo			5.- Contaminación cauces			9.- Afección Aguas Subterráneas											
	2.- Efecto frontera			6.- Contaminación suelos			10.- Afección aguas Superficiales											
	3.- Muerte por atropello			7.- Contaminación Acústica			11.- Erosión											
	4.- Atracción fauna			8.- Contaminación Lumínica			12.- Paisaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
Plataforma	X	X	X	X	X		X											
Cerramiento	X +	X +	X -															
Desmontes	X +	X ++	X -		X				X	X	X							
Terraplenes	X ++	X +							X	X +		X						
Obras de fábrica		X +		X						X		X						
Enlaces	X +	X +					X		X	X		X						
Estaciones servicio	X +			X	X	X		X	X	X		X						
Velocidad máxima		X +	X +				X +											
Radios en planta	X +	X +	X -						X +	X +	X +	X						
Acuerdos verticales	X +	X +	X -						X +	X +	X +	X						
Cunetas		X			X					X								
Préstamos						X			X	X		X						
Caballeros						X			X	X		X						
Vías de servicio	X +	X +							X	X								
Intensidad de tráfico		X +	X +	X			X											

X: se aprecia un impacto relevante; X+: aumenta el impacto; X++: aumenta mucho el impacto; X-: reduce el impacto.

Apéndice 7. Resultados del primer cladograma jerárquico de agrupamiento de las variables climáticas, obtenido a partir de análisis factoriales y de clasificación sucesivos. Se indican las variables discriminantes, estadísticamente significativas, de cada sector climático (Figs. 40 a 42), su importancia media dentro de cada sector y en el total de la muestra, el valor del estadístico *t* y su probabilidad. Los conjuntos de variables se presentan ordenadas por su importancia en función de estos valores.

Grupos climáticos	Variables discriminantes	Media en el grupo	Media en el total de la muestra	t-valor	Probabilidad
Sector 1 <i>Clima cálido y seco</i>	Temperatura media del mes más frío	10,585	7,216	63,02	0,000
	Evapotranspiración potencial(*)	955,360	866,779	50,29	0,000
	Temperatura media anual	17,808	4,988	48,04	0,000
	Temperatura media estival	24,446	24,061	7,92	0,000
Sector 2 <i>Clima templado y húmedo</i>	Precipitación total	665,691	572,549	47,94	0,000
	Precipitación primaveral	90,564	78,178	46,93	0,000
	Días de helada	33,098	29,763	17,23	0,000
	Temperatura media estival	24,194	24,061	6,17	0,000
	Días de nevada	3,555	3,380	4,36	0,000
Sector 3 <i>Clima frío y húmedo</i>	Días de nevada	11,117	3,380	76,31	0,000
	Días de niebla	40,758	20,521	70,80	0,000
	Días de helada	55,174	29,763	51,73	0,000
	Precipitación estival	11,837	8,055	31,68	0,000
	Precipitación total	693,319	572,549	24,49	0,000
	Precipitación primaveral	91,140	78,178	19,36	0,000
Sector 4 <i>Clima cálido y húmedo</i>	Temperatura media estival	27,140	24,061	65,14	0,000
	Temperatura media anual	17,935	14,988	51,65	0,000
	Evapotranspiración potencial	951,504	866,779	49,48	0,000
	Temperatura media del mes más frío	9,008	7,216	34,49	0,000
	Precipitación primaveral	88,692	78,178	18,11	0,000
	Precipitación total	600,468	572,549	6,53	0,000
Sector 5 <i>Clima frío y seco</i>	Precipitación estival	14,997	8,055	61,65	0,000
	Días de helada	37,844	29,763	17,44	0,000
	Días de niebla	21,600	20,521	4,00	0,000

(*) Se usó el procedimiento de Thornthwite: a) el «índice de calor mensual», *i*, a partir de la temperatura media mensual; *t*, es $i = (t/5)^{1.514}$; b) el «índice de calor anual», *I*, suma los 12 valores de *i*; la evapotranspiración, ETP, mensual «sin corregir» se obtiene mediante la equivalencia:

$$ETP_{\text{sin corr}} = 16 (10/I)^a$$

donde la ETPsin corr es la mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 h teóricas de sol y *t* es la temperatura media mensual,

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0,49239$$

c) la corrección para el número de días del mes y el de horas de sol, da la equivalencia:

$$ETP = ETP_{\text{sin corr}} \times N/12 \times d/30$$

donde ETP es la evapotranspiración potencial corregida, *N* el número de horas de sol, anotada dependiendo del mes y la latitud y *d* el número de días del mes.

[<http://www.fao.org/docrep/X0490Ex0490e0j.htm#annex%202.%20meteorological%20tables>]

Apéndices

Apéndice 8. Listado de los Espacios Naturales Protegidos referidos en la cartografía resultante de los estudios de casos de conectividad en Andalucía oriental.

1. Parque Nacional Sierra Nevada *
2. Paraje Natural Desierto de Tabernas
3. Paraje Natural Karst en Yesos de Sorbas
4. Paraje Natural Punta Entinas Sabinar
5. Paraje Natural Sierra Alhamilla
6. Paraje Natural Alto Guadalquivir
7. Paraje Natural Cascada de Cimbarra
8. Paraje Natural Laguna Grande
9. Parque Natural Cabo de Gata-Níjar
10. Parque Natural Sierra de María-Los Velez
11. Parque Natural Sierra de Baza *
12. Parque Natural Sierra de Castril
13. Parque Natural Sierra de Huetor
14. Parque Natural Sierra Nevada *
15. Parque Natural Despeñaperros
16. Parque Natural Sierras de Andújar
17. Parque Natural Segura, Cazorla y Las Villas
18. Parque Natural Sierra Mágina
19. Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama

* Espacios comprendidos en la franja N-S seleccionada para caracterizar la conectividad física a escala de detalle (Fig. 43b, c).

Apéndice 9a. Valores actuales (Va) asignados a los componentes de la conectividad e impactos (ΔV) debidos a la afección por componentes de infraestructuras de transporte (autopistas y autovías). Afección de los flujos dependiendo del valor la pendiente del terreno en cada lugar del territorio.

Clases del componente de la conectividad (pendiente del terreno)	Valor asignado a cada clase (Va)	Afección provocada por los componentes de las infraestructuras (ΔV)											
		Anchura calzada	Cerramiento	Desmontes	Terraplenes	Velocidad máxima	Radio de curvatura	Cunetas	Préstamos	Caballeros	Bermas	Vías de servicio	Índice medio diario (tráfico)
A. Entre ≥ 0 y $< 3\%$	6	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0
B. Entre ≥ 3 y $< 7\%$	5	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0
C. Entre ≥ 7 y $< 15\%$	4	-2	0	-1	0	-1	-1	-3	-2	0	-1	-3	0
D. Entre ≥ 15 y $< 30\%$	3	-3	0	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-1	-3	0
E. Entre ≥ 30 y $< 45\%$	2	-2	0	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-2	0
F. $> 45\%$	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0

Apéndice 9b. Valores actuales (Va) asignados a los componentes de la conectividad e impactos (ΔV) debidos a la afección por componentes de infraestructuras de transporte (autopistas y autovías). Afección de los flujos dependiendo del valor asignado a la tensión energética a los lados de las fronteras asimétricas en cada lugar del territorio.

Clases del componente de la conectividad (fronteras asimétricas)	Valor asignado a cada clase (Va)	Afección provocada por los componentes de las infraestructuras (ΔV)											
		Anchura calzada	Cerramiento	Desmontes	Terraplenes	Velocidad máxima	Radios de curvatura	Cunetas	Préstamos	Caballeros	Bermas	Vías de servicio	Índice medio diario (tráfico)
A. $\Delta r=9$	9	-8	-9	-5	-5	-7	-8	-1	-1	-1	-6	-6	-7
B. $\Delta r=8$	8	-7	-8	-4	-4	-6	-7	-1	-1	-1	-5	-5	-6
C. $\Delta r=7$	7	-6	-7	-3	-3	-5	-6	-1	-1	-1	-4	-4	-5
D. $\Delta r=6$	6	-5	-6	-2	-2	-4	-5	-1	-1	-1	-3	-3	-4
E. $\Delta r=5$	5	-4	-5	-1	-1	-3	-4	-1	-1	-1	-2	-2	-3
F. $\Delta r=4$	4	-3	-4	-1	-1	-2	-3	-1	-1	-1	-1	-1	-2
G. $\Delta r=3$	3	-2	-3	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1
H. $\Delta r=2$	2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1
I. $\Delta r=1$	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1

Apéndice 10a. Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv, originado por las autopistas y autovías en la conectividad física del territorio. Este impacto se presenta para doce características de estas infraestructuras de transporte. Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δvi) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad. Se indican en negrita y subrayado los de mayor peso (≥0,30).

Característica causante del impacto ambiental, Δv	Impactos parciales, Δvi, en los componentes de la conectividad física en cada punto del territorio i = pendiente del terreno (pend), orientación (or), capacidad de infiltración del suelo (infiltr), precipitación anual (pa), precipitación primaveral (pprim), precipitación estival (pest), evapotranspiración (evpt), temperatura invernal (tiniv), temperatura estival (testiv), intercepción hídrica de la vegetación (intercep).
	$\Delta v = f(\Delta v_i)$
Anchura de la calzada	= <u>0,48</u> pend + <u>0,39</u> pa + <u>0,31</u> pest + <u>0,30</u> pprim + 0,28 infiltr + 0,27 tiniv + 0,21 evpt + 0,19 intercep + 0,13 testiv + 0,08 or
Vallado	(los impactos de las mallas metálicas se consideraron nulos en estos componentes de la conectividad)
Taludes	= <u>0,52</u> pend + <u>0,49</u> pprim + <u>0,36</u> pest + <u>0,35</u> infiltr + <u>0,34</u> intercep + <u>0,32</u> pa + 0,21 evpt + 0,19 tiniv + 0,11 testiv + 0,08 or
Terraplenes	= <u>0,68</u> infiltr + <u>0,38</u> intercep + <u>0,31</u> pest + 0,29 evpt + 0,24 pend + 0,22 pa + 0,20 testiv + 0,15 pprim + 0,13 tiniv + 0,06 or
Radio de curvatura	= <u>0,41</u> pa + <u>0,39</u> pest + <u>0,36</u> pend + <u>0,32</u> pprim + <u>0,30</u> infiltr + 0,29 tiniv + 0,23 evpt + 0,20 intercep + 0,14 testiv + 0,09 or
Cunetas	= <u>0,56</u> pprim + <u>0,45</u> pend + <u>0,43</u> intercep + <u>0,35</u> pa + <u>0,35</u> infiltr + 0,26 pest + 0,232 tiniv + 0,230 testiv + 0,15 or + 0,13 evpt
Préstamos	= <u>0,46</u> pprim + <u>0,34</u> evpt + <u>0,31</u> pa + <u>0,30</u> pest + 0,27 infiltr + 0,24 pend + 0,19 testiv + 0,17 tiniv + 0,12 or + 0,09 intercep
Caballeros	= <u>0,67</u> infiltr + <u>0,30</u> pest + 0,29 evpt 0,25 pa + 0,23 pend + 0,20 testiv + 0,142 or + 0,13 pprim + 0,12 tiniv + 0,10 intercep
Bermas	= <u>0,51</u> pprim + <u>0,39</u> pest + <u>0,33</u> pa + 0,26 pend + 0,255 evpt + 0,19 tiniv + 0,18 testiv + 0,14 infiltr + 0,13 or + 0,11 intercep
Vías de servicio	= <u>0,50</u> pprim + <u>0,40</u> pend + <u>0,33</u> pa + 0,26 evpt + 0,23 pest + 0,19 tiniv + 0,18 testiv + 0,13 infiltr + 0,13 or + 0,11 intercep
Intensidad de tráfico	= <u>0,44</u> evpt + <u>0,35</u> testiv + 0,28 infiltr + 0,23 tiniv + 0,14 pa + 0,11 intercep

Apéndice 10b. Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv , originado por las carreteras y vías rápidas en la conectividad física del territorio. Este impacto se presenta para doce características de estas infraestructuras de transporte. Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δv_i) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad. Se indican en negrita y subrayado los de mayor peso ($\geq 0,30$).

Característica causante del impacto ambiental, Δv	Impactos parciales, Δv_i , en los componentes de la conectividad física en cada punto del territorio i = pendiente del terreno (pend), orientación (or), capacidad de infiltración del suelo (infiltr), precipitación anual (pa), precipitación primaveral (pprim), precipitación estival (pest), evapotranspiración (evpt), temperatura invernal (tiniv), temperatura estival (testiv), intercepción hídrica de la vegetación (intercep).
	$\Delta v = f(\Delta v_i)$
Anchura de la calzada	= 0,46 pprim + 0,40 pest + 0,36 pa + 0,34 infiltr + 0,34 pend + 0,30 evpt + 0,27 tiniv + 0,24 testiv + 0,138 intercep + 0,138 or
Vallado	(los impactos de las mallas metálicas, si las hubiera, se consideraron nulos en estos componentes de la conectividad)
Taludes	= 0,5 pprim + 0,41 intercep + 0,40 pest + 0,39 infiltr + 0,35 pa + 0,35 pend + 0,30 evpt + 0,24 testiv + 0,22 tiniv + 0,14 or
Terraplenes	= 0,67 infiltr + 0,30 pest + 0,30 intercep + 0,29 evpt + 0,25 pa + 0,20 testiv + 0,18 pend + 0,14 pprim + 0,13 or + 0,12 tiniv
Radio de curvatura	= 0,48 pprim + 0,43 pest + 0,38 pa + 0,34 infiltr + 0,32 evpt + 0,28 pend + 0,26 testiv + 0,22 tiniv + 0,15 or + 0,14 intercep
Cunetas	= 0,56 pprim + 0,46 pend + 0,46 intercep + 0,36 pa + 0,27 pest + 0,27 tiniv + 0,24 testiv + 0,22 or + 0,14 infiltr + 0,11 evpt
Préstamos	= 0,59 pprim + 0,39 pa + 0,37 pest + 0,31 infiltr + 0,29 pend + 0,23 testiv + 0,22 evpt + 0,21 or + 0,2 tiniv + 0,14 intercep
Caballeros	= 0,65 infiltr + 0,30 pest + 0,28 evpt + 0,25 pa + 0,21 testiv + 0,17 pend + 0,16 or + 0,13 pprim + 0,12 tiniv + 0,1 intercep
Bermas	= 0,55 pprim + 0,40 pest + 0,37 pa + 0,26 pend + 0,24 evpt + 0,2 tiniv + 0,196 or + 0,15 testiv + 0,13 infiltr + 0,129 intercep
Vías de servicio	= 0,56 pprim + 0,37 pa + 0,36 pest + 0,26 pend + 0,24 evpt + 0,21 tiniv + 0,2 or + 0,15 testiv + 0,133 infiltr + 0,13 intercep
Intensidad de tráfico	= 0,44 evpt + 0,40 testiv + 0,34 tiniv + 0,25 pa + 0,24 infiltr + 0,19 intercep

Apéndice 10c. Regresiones calculadas en la estimación del impacto ambiental, Δv, originado por las caminos no asfaltados y vías pecuarias en la conectividad física del territorio. Este impacto se presenta para doce características de estas infraestructuras de transporte. Los coeficientes de regresión obtenidos informan del grado de afección (impactos parciales, Δvi) de la infraestructura contemplada en cada componente de la conectividad. Se indican en negrita y subrayado los de mayor peso (≥0,30).

Característica causante del impacto ambiental, Δv	Impactos parciales, Δvi, en los componentes de la conectividad física en cada punto del territorio i = pendiente del terreno (pend), orientación (or), capacidad de infiltración del suelo (infiltr), precipitación anual (pa), precipitación primaveral (pprim), precipitación estival (pest), evapotranspiración (evpt), temperatura invernal (tiniv), temperatura estival (testiv), intercepción hídrica de la vegetación (intercep). $\Delta v = f(\Delta v_i)$
Anchura de la calzada	= <u>0,46</u> pprim + <u>0,41</u> pest + <u>0,37</u> evpt + <u>0,35</u> infiltr + <u>0,31</u> pa + 0,22 testiv + 0,19 pend + 0,185 or + 0,18 tiniv + 0,01 intercep
Vallado	(no hay mallas metálicas en este tipo de infraestructuras)
Taludes	= <u>0,48</u> pprim + <u>0,43</u> pest + <u>0,40</u> evpt + <u>0,39</u> infiltr + <u>0,35</u> pa + 0,21 testiv + 0,20 pend + 0,20 or + 0,19 tiniv + 0,13 intercep
Terraplenes	= <u>0,6</u> infiltr + <u>0,34</u> pest + 0,28 evpt + + 0,24 pa + 0,2 testiv + 0,16 pprim + 0,13 or + 0,11 tiniv + 0,09 intercep + 0,086 pend
Velocidad de circulación	= <u>0,85</u> pest + <u>0,40</u> pend
Cunetas	= <u>0,76</u> pest + <u>0,50</u> pend
Préstamos	= <u>0,45</u> pest + <u>0,44</u> pprim + <u>0,35</u> evpt + <u>0,30</u> pa + 0,24 testiv + 0,24 infiltr + 0,17 or + 0,14 tiniv + 0,11 pend + 0,10 intercep
Caballeros	= <u>0,61</u> infiltr + <u>0,34</u> pest + 0,28 evpt + 0,24 pa + 0,20 testiv + 0,16 pprim + 0,13 or + 0,11 tiniv + 0,09 intercep + 0,09 pend
Bermas	(no hay bermas en este tipo de infraestructuras)
Vías de servicio	(no hay vías de servicio en este tipo de infraestructuras)
Intensidad de tráfico	= <u>0,51</u> testiv + <u>0,36</u> tiniv + <u>0,35</u> infiltr + <u>0,35</u> pa + 0,26 evpt + 0,23 intercep

Apéndices

Apéndice 11. Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental

1. *Descripción del proyecto y sus acciones.* 1.1. Localización. 1.2. Relación de todas las acciones inherentes a la actuación de que se trate, susceptibles de producir un impacto sobre el medio ambiente, mediante un examen detallado tanto de la fase de su realización como de su funcionamiento. 1.3. Descripción de los materiales a utilizar, suelo a ocupar, y otros recursos naturales cuya eliminación o afectación se considere necesaria para la ejecución del proyecto. 1.4. Descripción, en su caso, de los tipos, cantidades y composición de los residuos, vertidos, emisiones o cualquier otro elemento derivado de la actuación, tanto sean de tipo temporal durante la realización de la obra, o permanentes cuando ya esté realizada y en operación, en especial, ruidos, vibraciones, olores, emisiones luminosas, emisiones de partículas, etc.
2. *Examen de alternativas técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.* 2.1. Un examen de las distintas alternativas técnicamente viables, y una justificación de la solución propuesta. 2.1. Una descripción de las exigencias previsibles en el tiempo, en orden a la utilización del suelo y otros recursos naturales, para cada alternativa.
3. *Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves.* Se harán de forma sucinta en la medida en que fueran precisas para la comprensión de los posibles efectos del proyecto sobre el medio ambiente. 3.1. Estudio del estado del lugar y de sus condiciones ambientales antes de la realización de las obras, así como de los tipos existentes de ocupación de suelo y aprovechamientos de otros recursos naturales, teniendo en cuenta las actividades preexistentes. 3.2. Identificación, censo, inventario, cuantificación y, en su caso, cartografía, de todos los aspectos ambientales que puedan ser afectados por la actuación proyectada. (Debe considerarse, al menos, la estimación de los efectos sobre: 3.2.1. La población humana. 3.2.2. La fauna. 3.2.3. La flora. 3.2.4. La vegetación. 3.2.5. La gea. 3.2.6. El suelo. 3.2.7. El agua. 3.2.8. El aire. 3.2.9. El clima. 3.2.10. El paisaje. 3.2.11. La estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada. 3.2.12. El patrimonio histórico español. 3.2.13. Las relaciones sociales. 3.2.14. Las condiciones de sosiego público. 3.2.15. Ruidos. 3.2.16. Vibraciones. 3.2.17. Olores. 3.2.18. Emisiones luminosas. 3.2.19. Cualquier otra incidencia derivada de su ejecución). 3.3. Descripción de las interacciones ecológicas claves y su justificación. 3.4. Delimitación y descripción cartográfica del territorio o cuenca espacial afectada por el proyecto para cada uno de los aspectos ambientales definidos en el artículo citado. 3.5. Estudio comparativo de la situación ambiental actual y futura, con y sin la actuación derivada del proyecto objeto de la evaluación, para cada alternativa examinada.
4. *Identificación y valoración de impactos, tanto en la solución propuesta como en sus alternativas.* 4.1. Se incluirá la identificación y valoración de los efectos notables previsibles de las actividades proyectadas sobre los aspectos ambientales definidos en el artículo 6º, para cada alternativa. 4.2. Necesariamente, la identificación de los impactos ambientales derivará del estudio de las interacciones entre las acciones derivadas del proyecto y las características específicas de los aspectos ambientales afectados en cada caso concreto. 4.3. (Se clasificarán los efectos): Se distinguirán los

efectos positivos de los negativos; los temporales de los permanentes; los simples de los acumulativos y sinérgicos; los directos de los indirectos; los reversibles de los irreversibles; los recuperables de los irrecuperables; los periódicos de los de aparición irregular; los continuos de los discontinuos. 4.4. (Se clasificarán los impactos ambientales): Se indicarán los impactos ambientales compatibles, moderados, severos y críticos que se prevean como consecuencia de la ejecución del proyecto. 4.5. (Se valorarán los efectos): La valoración de estos efectos, cuantitativa, si fuese posible, o cualitativa, expresará los indicadores o parámetros utilizados, empleándose siempre que sea posible normas o estudios técnicos de general aceptación, que establezcan valores límite o guía, según los diferentes tipos de impacto. 4.6. (Se recomendará la anulación o sustitución de la acción inadmisibles): Cuando el impacto ambiental rebase el límite admisible, deberán preverse las medidas protectoras o correctoras que conduzcan a un nivel inferior a aquel umbral; caso de no ser posible la corrección y resultar afectados elementos ambientales valiosos, procederá la recomendación de la anulación o sustitución de la acción causante de tales efectos. 4.7. (Se sondeará la aceptación social): Se indicarán los procedimientos utilizados para conocer el grado de aceptación o repulsa social de la actividad, así como las implicaciones económicas de sus efectos ambientales. 4.8. (Se definirá la metodología seguida): Se detallarán las metodologías seguidas y los procesos de cálculo utilizados en la evaluación o valoración de los diferentes impactos ambientales, así como la fundamentación científica de esa evaluación. 4.9. (Se ordenarán jerárquicamente los impactos): Se jerarquizarán los impactos ambientales identificados y valorados, para conocer su importancia relativa. Asimismo, se efectuará una evaluación global que permita adquirir una visión integrada y sintética de la incidencia ambiental del proyecto.

5. *Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.* 5.1. Se indicarán las medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos significativos, así como las posibles alternativas existentes a las condiciones inicialmente previstas en el proyecto. (5.1.1. Se describirán las medidas adecuadas para atenuar o suprimir los efectos ambientales negativos de la actividad, tanto en lo referente a su diseño y ubicación, como en cuanto a los procedimientos de anticontaminación, depuración, y dispositivos genéricos de protección del medio ambiente. 5.1.2. En defecto de las anteriores medidas, aquellas otras dirigidas a compensar dichos efectos, a ser posible con acciones de restauración, o de la misma naturaleza y efecto contrario al de la acción emprendida).
6. *Programa de vigilancia ambiental.* 6.1. El programa de vigilancia ambiental establecerá un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas, protectoras y correctoras, contenidas en el estudio de impacto ambiental.
7. *Documento de síntesis.* 7.1. Las conclusiones relativas a la viabilidad de las actuaciones propuestas. 7.2. Las conclusiones relativas al examen y elección de las distintas alternativas. 7.3. La propuesta de medidas correctoras y el programa de vigilancia tanto en la fase de ejecución de la actividad proyectada como en la de su funcionamiento. 7.4. El documento de síntesis no debe exceder de veinticinco páginas y se redactará en términos asequibles a la comprensión general. 7.5. Se indicarán asimismo las dificultades informativas o técnicas encontradas en la realización del estudio con especificación del origen y causa de tales dificultades.

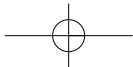
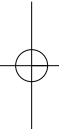
Apéndices

El procedimiento administrativo que debe seguirse en el proceso, según el citado decreto se esquematiza de la forma siguiente (PO: promotor; OA: órgano ambiental competente; OS: órgano sustantivo; EsIA: estudio de impacto ambiental; DIA: declaración de impacto ambiental):

Actividad	PRO	OA	OS	Plazos (días)
Presentación de una memoria resumen para comunicar intención al OA	X			
El OA podrá consultar a los afectados		X		10
Elaboración de las propuestas			X	30 para contestación
El OA facilita al promotor el contenido de las respuestas y aspectos a tener en cuenta		X		20 para comunicar
Realización del EsIA	X			Sin plazo
Entrega del EsIA	X			
Publicación en Boletín Oficial		X		Sin plazo
Información pública (el OA si el OS no lo prevé)		(X)	X	30 hábiles
Comunicación de correcciones		X		30
Modificación del EsIA	X			20
Presentación del EsIA final	X			Sin plazo
Resolución de la DIA		X		30
Publicación de la DIA	X			Sin plazo

Apéndice 12. Tareas propias que la ingeniería civil puede contemplar en el desarrollo de infraestructuras con el asesoramiento multidisciplinar de especialistas. Los factores ambientales deben estar presentes desde las primeras etapas de la programación de cualquier proyecto que afecte al ciclo hidrológico a cualquier escala. Es importante que los datos necesarios existan (algo no frecuente), pero más aún lo es el que constituyan la información de referencia de los estudios de planeamiento, previos de alternativas, informativos, anteproyectos, proyectos constructivos, ejecución de obras y explotación y mantenimiento de las infraestructuras.

- Estudiar la dinámica fluvial para conocer su alteración por efectos de la obra,
- Concretar espacial y temporalmente los procesos erosión-sedimentación,
- Esquematizar las redes ecológicas básicas,
- Identificar y definir la importancia de los biotopos y su diversidad,
- Analizar la biocenosis afectada,
- Concretar la problemática naturalística (geótica, botánica, faunística) en la comarca
- Conocer los procesos degradantes existentes,
- Analizar las preferencias sociales de uso,
- Determinar los impactos ambientales previsibles,
- Proyectar *in situ* («cada árbol, roca, poza tiene importancia»),
- Adaptar los trabajos de obra a los ciclos ecológicos, estacionales e interanuales,
- Evitar la uniformidad para orillas y fondos,
- Afectar u ocupar el terreno estrictamente necesario,
- Prever y controlar los movimientos de maquinaria durante el proceso constructivo,
- Analizar las relaciones entre los procesos fluviales y la estructura biótica,
- Conocer bioindicadores específicos deducidos por el análisis del entorno,
- Conocer esencialmente los los ciclos naturales nutrientes biogénicos,
- Conocer el papel de los ecotonos ribereños,
- Identificar humedales, génesis, conectividad y zonas de influencia,
- Conocer la interfase sedimento-agua y su importancia ecológica,
- Prever la recuperación de ríos,
- Aislamiento de cuencas y cauces de procesos contaminantes en obra y explotación,
- Reducción al mínimo de las estructuras rígidas,
- Uso de elementos naturales (madera, escollera),
- Conservación y reutilización del suelo fértil, «tierra vegetal» y otros recursos,
- Respeto singular de la vegetación nativa y su recuperación,



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAHAMSON, W.G. & GADGIL, M. 1973. Growth form and reproductive effort in goldenrods. *American Naturalist* 107: 651-661.
2. ALLEN, T.F.H. & STARR, T.B. 1982. *Hierarchy*, Universidad de Chicago Press.
3. ALLIER, C. RAMÍREZ DÍAZ, L. & GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. 1974. Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana. CSIC, Sevilla.
4. ALONSO, C.L., PALOMINO, D., CARRASCAL, L.M. & CALMAESTRA, R.G. 2004. Efectos de las carreteras sobre las aves. *Quercus* 226: 28-33.
5. ÁLVAREZ, G., BAULIES, X. et al. 2006. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causados por infraestructuras de transporte. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
6. ANTROP, M. 2005. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning* 70: 21-34.
7. ArcView. 1996. Geographic Information System. Ver. 3.3. Environmental Systems Research Institute. Berkeley, California.
8. ARMSWORTH, P.R. & Roughgarden, J.E. 2001. An invitation to ecological economics. *Trends in ecology & Evolution* 16: 229-234.
9. ARRIAZA, M., CAÑAS-ORTEGA, J.F., CAÑAS-MADUEÑO, J.A. & RUIZ-AVILÉS, P. 2004. Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 69:115-125.
10. BAGUETTE, M. & VAN DYCK, H. 2007. Landscape connectivity and animal behaviour: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecol* 22: 1117-1129.
11. BALDOCK, D. & LONG, A. 1998. The Mediterranean environment under pressure: the influence of the CAP on Spain and Portugal and the IMPs in France, Greece and Italy. Report to WWF, Gland.
12. BALDOCK, D., BEAUFOY, G., BENNETT, G. & CLARK, J. 1993. *Nature Conservation and New Directions in the Common Agricultural Policy*. Institute for European Environmental Policy, Arnheim.

Referencias bibliográficas

13. BASCOMPTE, J., JORDANO, P. & OLESEN, J.M. 2006. Asymetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science* 312: 431-435.
14. BENJAMINSEN, T.A. 2001. The population-agriculture-environment nexus in the Malian cotton zone. *Global Environmental Change* 11: 283-295.
15. BENNETT, G. (ed.). 1991. *EECONET towards a European Ecological Network*. Institute for European Environmental Policy. CE, Arnhem: 53-73.
16. BENNETT, G. (ed.). 1994. *Conserving Europe's Natural Heritage. Towards a European Ecological Network*. Graham & Trotman/M.Nijhoff, Internat. Environm. Law & Policy Series, Dordrecht.
17. BERKHOUT, F., HERTIN, J. & JORDAN, A. 2002. Socio-economic futures in climate change impact assesment: using scenarios as «learning machines». *Global Environmental Change* 12: 83-95.
18. BERNÁLDEZ, F.G. 1985. *Invitación a la ecología humana. La adaptación efectiva al entorno*. Tecnos, Madrid.
19. BERNÁLDEZ, F.G. 1987. Las zonas encharcables españolas: el marco conceptual. En: *Bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
20. BERNÁLDEZ, F.G. 1989. Ecosistemas áridos y endorreicos españoles. En: *Zonas Áridas en España*, Real Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
21. BERNÁLDEZ, F.G. 1991. Diversidad biológica, gestión de ecosistemas y nuevas políticas agrarias. En: F.D. Pineda, M.A. Casado, J.M. De Miguel & J. Montalvo (eds.). *Biological Diversity*. F. Areces-SCOPE-WWF, Madrid: 23-31.
22. BERNÁLDEZ, F.G. 1992a. Ecological aspects of wetland/groundwater relationships in Spain. *Limnetica* 8: 11-26.
23. BERNÁLDEZ, F.G. 1992b. Los paisajes del agua: terminología popular de los humedales. J.M. Reyero, Eds., Madrid.
24. BERNÁLDEZ, F.G., HERRERA, P., LEVASSOR, C., PECO, B. & SASTRE, A. 1987. Las aguas subterráneas en el paisaje. *Investigación y Ciencia* 127: 8-17.
25. BERNÁLDEZ, F.G., REY BENAYAS, J.M. & MARTÍNEZ, A. 1993. Ecological impact of groundwater extraction on wetlands. *J. of Hydrology* 141: 219-238.
26. BLANCO, J.C. 1992. *Libro rojo de los vertebrados de España*. Iona, Madrid.
27. BUISSON, E. & DUTOIT, T. 2006. Creation of the natural reserve of La Crau: Implications for the creation and management of protected areas. *Journal of Environmental Management* 80: 318-326.
28. BUNCE, R.G.H., PÉREZ-SOBA, M., ELBERSEN, B., PRADOS, M.J., ANDERSEN, E., BELL, M., SMEETS, P.J.A.M. (eds.). 2001. *Examples of European agri-environment schemes and livestock systems and their influence on Spanish cultural landscapes*. Alterra Alpen, Wageningen.

29. BUNCE, R.G.H., PÉREZ-SOBA, M., JONGMAN, R., GÓMEZ SAL, A., HERZOG, F. & AUSTAD, I. 2004. Transhumance and Biodiversity in European Mountains. IALE-Alterra, Wageningen.
30. BUREL, F. & BAUDRY, J. 2001. *Ecologie du paysage: concepts méthodes et applications*. Tec Doc-Lavoisier, París.
31. BURGUEÑO, A. 2002. Buenas prácticas en la construcción. I Congreso de Ingeniería Civil, territorio y Medio Ambiente, Madrid.
32. CAIRNS, J. Jr. & PRATT, J.R. 1995. The relationships between ecosystem health and delivery of ecosystem services. En: Rapport, D.J., Gaudet, C. & Calow, P. (eds.). *Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems*. Springer-Verlag, Heidelberg.
33. CASADO, M.A. de MIGUEL, J.M., STERLING, A. PECO, B., GALIANO, E.F. & PINEDA, F.D. 1985. Production and spatial structure of Mediterranean pastures in different stages of ecological succession. *Vegetatio* 64: 75-86.
34. CASADO, M.A., ABBATE, G., BLASI, C. & PINEDA, F.D. 1989. Spatial heterogeneity in a clearing in aturkey oak (*Quercus cerris*) wood: pattern diversity analysis. *Vegetatio* 79: 143-149.
35. CASTELL, C. 2009. La matriz territorial del entorno de las grandes ciudades. En: Díaz Pineda, F. & De Lucio, J.V. (Dir.). *Curso Redes de Espacios Naturales Protegidos, Conectividad Ecológica y Grandes Ciudades*. Cursos de El Escorial. Universidad Complutense, Madrid.
36. CASTRO, H. (dir.). MÚGICA, M., DE LUCIO, J.V., MARTÍNEZ, C. et al. 2002. Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. Junta de Andalucía, Sevilla.
37. CASTRO, H., CARRIQUE, E.L., RESCIA, A. AGUILERA, P., SCHMITZ, M.F. & PINEDA, F.D. 2000. Pattern diversity of phenomorphotrophic traits. Methodological approach on the bird assemblage of a mediterranean salt pan. *Journal of Mediterranean Ecology* 1: 201-218.
38. CIHAR, M. & STANKOVA, J. 2006 Attitudes of stakeholders towards the Podyji/Thaya River Basin National Park in the Czech Republic. *Journal of Environmental Management* 81:273-285.
39. CONNELL, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 302-1310.
40. COOPERS & LYBRAND. 1998. Informes sobre el seguimiento del Accidente de Aznalcóllar. Junta de Andalucía, Sevilla.
41. COPT (Consejería de Obras Públicas y Transportes). 2004. Primer Curso de Dirección Ambiental de Obras de Ingeniería Civil, Colegio de Caminos Canales y Puertos de Andalucía Occidental. Junta de Andalucía, Sevilla.
42. COSTA, P. 2004. Sociología litoral. Tesis doctoral. Universidad Complutense, Madrid.
43. COSTANZA, R. & FOLKE, C. 1997. Valuing Ecosystem Services with Efficiency, Fairness and Sustainability as Goals. En: Daily, G.C. (Ed.). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington.

Referencias bibliográficas

44. COSTANZA, R. & VOINOV, A. 2001. Modeling ecological and economic systems with STELA: Part III. Ecological Modelling 143: 1-7.
45. COSTANZA, R. 1992. Toward an operational definition of health. En: Costanza, R., Norton, B. & Haskell, B. (eds.). Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Island Press, Washington.
46. COSTANZA, R. 2001. Institutions, Ecosystems and Sustainability. Lewis Publishers, London.
47. COSTANZA, R., CUMBERLAND, J., DALY, H., GOODLAND, R. & NORGAARD, R. 1997. An introduction to Ecological Economics. St. Waie Press, Florida.
48. COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. & BELT, M. VAN DEN. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387: 253-260.
49. Council of Europe, 2000-2006. The European Landscape Convention, Strasbourg. http://www.coe.int/t/e/Cultural_Co-operation/Environment/Landscape/
50. DAILY, G.C. 1997. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington.
51. DASDEMIR, I. 2005. Improving operational planning and management of National Parks in Turkey: A case study. Environmental Management 35:247-257.
52. DASGUPTA, A.K. & Pearce, D.W. 1972. Cost Benefit Analysis. Macmillan, New York.
53. DE ARANZABAL, I., SCHMITZ, M.F. & PINEDA, F.D. 2009. Integrating Landscape analysis and Planning: A Multi-Scale Approach for Oriented Management of Tourist Recreation. Environmental Management 44: 938-951.
54. DE ARANZABAL, I., SCHMITZ, M.F., AGUILERA, P. & PINEDA, F.D. 2008. Modelling of landscape changes derived from the dynamics of socio-ecological systems. A case of study in a semiarid Mediterranean landscape. Ecological Indicators 8: 672-685.
55. DE GRAAF, H.J., MUSTERS, C.J.M. & TER KEURS, W.J. 1996. Sustainable development: looking for new strategies. Ecological Economics 16: 205-216.
56. DE JUANA, E., PINEDA, F.D., HEDO, D., HERNÁNDEZ, S., NARDIZ, C. & VALERO, M.A. 1999. Marco Director de Carreteras: Metodología para el establecimiento de los Criterios Ambientales a incluir en los Estudios de Carreteras. Cartografía básica Medioambiental. Informe para la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes, Ministerio de Fomento, Madrid..
57. DE LUCIO, J.V. & MÚGICA, M. 1994. Landscape preferences and behaviour of visitors to Spanish national parks. Landscape and Urban Planning 29:145-160.
58. DE MIGUEL, J.M. & PINEDA, F.D. 2007. Medio Ambiente. Problemas y posibilidades. En: J.L. García Delgado (ed.). Estructura económica de Madrid. Civitas, Madrid 185-227. (eds. 2003, 2005, 2007).
59. DE MIGUEL, J.M., RAMÍREZ, L., CASTRO, I., COSTA, M. CASADO, M.A. & PINEDA, F.D. 2005. Plant species richness and spatial organization at different small scales in western Mediterranean landscapes. Plant Ecology 176: 185-194.

60. DE PABLO, C.L., MARTÍN DE AGAR, P., GÓMEZ SAL, A. & PINEDA, F.D. 1988. Descriptive capacity and indicative value of territorial variables in ecological cartography: spectra and profiles of mutual information. *Landscape Ecology* 1: 203-211.
61. DE PABLO, C. L., PECO, B., GALIANO, E.F., DE NICOLÁS, J.P. & PINEDA, F.D. 1982. Space-time variability in mediterranean pastures analyzed with diversity parameters. *Vegetatio* 50: 113-125.
62. DE PABLO, C.L., GÓMEZ SAL, A. & PINEDA, F.D. 1987, Elaboration automatique d'une cartographie écologique et son evaluation avec des parametres de la theorie de l'information. *L'Espace Geographique* 2: 115-128.
63. DÍAZ PINEDA, F., SCHMITZ, M.F., DE MIGUEL, J.M. & MARTÍNEZ, R. 2000. Proyecto minero «Las Cruces» (Sevilla). Evaluación de su Impacto Ambiental y Plan de Restauración. Cobre Las Cruces, S.A., Sevilla. Frasa Ingenieros, S.L., Madrid.
64. DÍAZ PINEDA, F.D. et al. 1995. Coordinador (doce firmantes). Ordenamiento ecológico de la Región de Los Tuxtlas (México). AECEI, AMA Andalucía & Gobierno de México, México DF.
65. DÍAZ-PINEDA, F. 1989. Estado actual de los estudios de impacto ambiental. En: D.M. Rivas & R. Tamames (eds.). *Ecología: el planeta amenazado*. Publs. Univ. Complutense, Madrid: 66-80.
66. DLD (Dornach Landscape Document). 2000. Get Connected To your Place! Discussion Document of the International Conference, The Culture of the European Landscape as a Task. Goetheanum, Dornach. <http://www.goetheanum.ch/>
67. DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B. 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman, San Francisco.
68. EASTMAN, J.R. 1997. *Idrisi for Windows (v. 2.0)*. Worcester, UK: Clark University.
69. EHRENFELD, D. 1995. The marriage of ecology and medicine: are they compatible? *Ecosystem Health* 1: 15-22.
70. ELENA ROSELLÓ, R. 1997. Clasificación biogeoclimática de España Peninsular y Balear. Pubis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
71. ELOSEGI, A. & SABATER, S. (eds). 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA-Rubes Eds., Bilbao.
72. ESRI. 2002. *ArcView Geographic Information System (v. 3.3)*. California, USA: Environmental Systems Research Institute.
73. EUROPARC España. www.redeuroparc.org/. ICEI, Campus de Somosaguas, Universidad Complutense de Madrid-Fundación Interuniversitaria F.González Bernaldez, Madrid.
74. European Commission. 2003. Basic orientations for the sustainability of European tourism. [www document]. http://www.aer.org/fileadmin/user_upload/MainIssues/Tourism/2005/ECorientations-2003.pdf
75. Eurostat. 2007. *Agricultural Statistics. Data 1995-2005*. European Communities, Luxembourg.

Referencias bibliográficas

76. FAIRMAN, R., MEAD, C.D. & WILLIAMS, W.P. 1998, Environmental Risk Assessment: Approaches, Experiences and Information Sources. European Environmental Agency. Environm. Issues Series 4, Copenhagen.
77. FAO. 2003. The agricultural statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.FAO.org
78. FARINA, A., 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman & Hall, London, UK.
79. FERNÁNDEZ, E., RESCIA, A., AGUILERA, P., CASTRO, H., SCHMITZ, M.F. & PINEDA, F.D. 2000. The natural offer of the landscape and the demand for tourism: a spatial analysis of visitors» preferences. En: C.A. Brebbia & P. Pascolo (eds.). Management Information Systems 2000. GIS and Remote Sensing, WIT Press, Southampton 75-89.
80. FERNÁNDEZ-ALÉS, R., MARTÍN, A., ORTEGA, F. & ALÉS, E.E. 1992. Recent changes in landscape structure and function in a mediterranean region of SW Spain (1950-1984). Landscape Ecology 7: 3-18.
81. FERRER I CANCHO, R. & SOLE, R.V. 2001. Optimisation in complex networks. Condensed Matter Abstract 0111222.
82. FJELLSTAD, W.J. & DRAMSTAD, W.E. 1999. Patterns of changes in two contrasting Norwegian agricultural landscapes. Landscape and Urban Planning 45: 177-191.
83. FLAMM, R.O. & TURNER, M.G. 1994. Alternative model formulations for a stochastic simulation of landscape change. Landscape Ecology 9: 37-46.
84. FORMAN, R. 1995. Land Mosaics. The ecology of landscape and regions. Cambridge University Press, New York.
85. FORMAN, R., SPERLING, D., Bissonette, J. et al. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Island Press, Washington.
86. FORMAN, R.T.T. & ALEXANDER, L.E. 1998. Ann. Rev. Ecol., Syst. 29: 207-231.
87. FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. 1986. Landscape Ecology. J. Wiley y Sons, New York.
88. FORMAN, R.T.T. & MOORE, P.N. 1992. Theoretical foundations for understanding boundaries in landscape mosaics. En: Hansen, A.J. & Di Castri, F.J. (eds.). Landscape Boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows. Springer-Verlag, New York.
89. FORTESCUE, J.A.C. 1980. Environmental Geochemistry. Springer Verlag, Berlin.
90. FOSTER, D., SWANSON, F., ABER, J., BURKE, I., BROKAW, N., TILMAN, D. & KNAPP, A. 2003. The importance of land-use legacies to ecology and conservation. Bioscience 53: 77-88.
91. FRESCO, F.L.M. 1988. Plant species richness: Numerical explanation and prediction. In: H.J. Dunning, M.J. Werger and H.J. Williams (eds.). Diversity and pattern in plant communities. SPB, Acad. Publ., La Haya: 171-181.
92. GADGIL, M. & BERKES, F. 1991. Traditional Resource Management Systems. Resource Management and Optimization 18: 127-141.

93. GESSNER, M.O. & CHAUVET, E. 2002. A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Ecological applications*, 12: 498-510.
94. GFANC (German Federal Agency for Nature Conservation). 1997. *Biodiversity and Tourism. Conflicts on the World's Seacoasts and Strategies for Their Solution*. Berlin, Heidelberg, Germany and New York, USA: Springer-Verlag.
95. GILMOUR, D.A., BUDOWSKI, G., WICKRAMASINGHE, A., PINEDA, F.D. & MONTALVO, J. 1995. Background and guidelines for conservation planners. In: Gilmour, D. (ed.): *Biological Diversity outside Protected Areas. Overview of traditional Agroecosystems*. Uicn Forest Conservation Program, Gland: 1-10.
96. GLAZOVSKAYA, M.A. 1963. On geochemical principles of the classification of natural landscapes. *Internat. Geol. Rev.* 5(11): 1403-1431.
97. GOERLICH, F., MAS IVARS, M., 2002. *Evolución económica de las provincias españolas*. Fund. BBVA, Madrid.
98. GÓMEZ LIMÓN, F.J. & DE LUCIO, J.V. 1994. Recreational use model in a wilderness area. *Journal of Environmental Management* 40: 161-171.
99. GÓMEZ SAL, A., RODRÍGUEZ, M.A. & DE MIGUEL, J.M. 1992. Matter transfer and land use by cattle in a dehesa ecosystem of Central Spain. *Vegetatio* 99-100: 345-354.
100. GÓMEZ-SAL, A. & LORENTE, I. 2004. The present status and ecological consequences of trashumance in Spain, En: Bunce, R., Pérez, M., Jongman, R.H., Gómez-Sal, A., Herzog, F. & Austad, I. (eds.): *Transhumance and Biodiversity in European Mountains*. Iale-Alterra, Wageningen.
101. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. 1981. *Ecología y paisaje*. Blume, Madrid.
102. GÖSSLING, S. 2002. Global environmental consequences of tourism. *Global Environmental Change* 12: 283-302.
103. GRIMM, V., SCHMIDT, E. & WISSEL, C. 1992. On the application of stability concepts in ecology. *Ecological Modelling* 63: 143-161,
104. GULINCK, H., VYVERMAN, N., VAN BOUCHOUT, K. & GOBIN, A. 2001. Landscape as framework for integrating local subsistence and ecotourism: a case study in Zimbabwe. *Landscape and Urban Planning* 53: 173-182.
105. HARDT, R.A. & FORMAN, R.T.T. 1989. Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines. *Ecology* 70: 1252-1260.
106. HARTE, J. & LEVY, D. 1975. Sobre la vulnerabilidad de los sistemas perturbados por el hombre. En: van Dobben, W.H. & Lowe-McConnell, R.H. (eds.). *Conceptos unificadores en ecología*. Blume, Barcelona.
107. HEARNE, R.H. & SALINAS, Z.M. 2002. The use of choice experiments in the analysis of tourist preferences for ecotourism development in Costa Rica. *Journal of Environmental Management* 65:153-163.
108. HERNÁNDEZ, L. & ROMERO, F. 2009. *Bosques españoles*. WWF España, Madrid.

Referencias bibliográficas

109. HERNÁNDEZ, S. & PINEDA, F.D. 1998. Ferrocarril de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Directrices para la restauración ambiental del trazado. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, GIF.Ministerio de Fomento, Madrid.
110. HERNÁNDEZ, S. 1997. Influencia de las Obras lineales sobre las condiciones ambientales del entorno. Jornadas sobre Comunicaciones en el Occidente de la Cornisa Cantábrica. Colegio de Ings. Caminos, Canales y Puertos, Oviedo.
111. HERNÁNDEZ, S. 2002. Interferencia de los embalses, y su régimen de explotación, con algunos procesos y especies relacionados con la fauna. Congreso Internacional de Conservación y Rehabilitación de Presas, Madrid del 11-13 noviembre, 2002.
112. HERNÁNDEZ, S. 2004. Puentes y avifauna silvestre. Curso de Dirección Ambiental de Obras de Ingeniería Civil. Junta de Andalucía. Colegio de Ings Caminos Canales y Puertos, Sevilla.
113. HERNÁNDEZ, S., DÍAZ PINEDA, F., DE NICOLÁS, J.P., SCHMITZ, M.F. & DE LUCIO, J.V. (coords.). 2007. Escultura de Eduardo Chillida «Montaña de Tindaya» (Isla de Fuerteventura). Evaluación del impacto ambiental y directrices sobre conservación y restauración del entorno. Estudio para el Gobierno de Canarias, Santa Cruz de Tenerife. 2 Vols.
114. HERVÁS, I. SUÁREZ, F., MATA, C., HERRANZ, J., MALO, J.E. & CARRILES, E. 2006. Pasos de fauna para vertebrados. CEDEX, Madrid.
115. HILTY, J.A., LIDICKER, W.Z.JR. & MERENLENDER, A.M. 2006. Corridor Ecology. Island Press, London.
116. HJALAGER, A.M. 1996. Agricultural diversification into tourism. *Tourism Management* 17: 103–111.
117. HÖCHTL, F., LEHRINGER, S. & KONOLD, W. 2005. «Wilderness»: what it means when it becomes a reality: a case study from the southwestern Alps. *Landscape and Urban Planning* 70: 85–95.
118. HOLLING, C.S. 1986. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. En: Clark, W.C. & Munn, R.E. (eds.). *Sustainable development of biosphere*. Cambridge Univ. Press., New York.
119. HOLLING, C.S. 1973. Resilience and Stability of ecological systems. *Ann. Rev.Ecol.Syst.* 4: 1-23.
120. HRUBY, T. 1999. Assesments of Wetland Functions: What They Are and What They Are Not. *Environmental Management* 23(1): 75-85.
121. HUGHEY, K.F.D., CULLEN, R., KERR, G.N. & COOK, A.J. 2004. Application of the pressure-state-response framework to perceptions reporting of the state of the New Zealand environment. *Journal of Environmental Management* 70: 85–93.
122. HUTCHINSOM, G.E. 1957. Cold Spring Harb. Symp. Q. Biol. 22:415-427.
123. IALE (International Association for Landscape Ecology), 2001. European Conference Development of European Landscapes. Stockholm, Tartu.

124. IALE (International Association for Landscape Ecology), 2005. European Conference Landscape Ecology in the Mediterranean. Inside and outside approaches. Faro.
125. Icona. 1987. Guía fotográfica para identificación de modelos de combustible. Mapa, Madrid.
126. JACOBS, J. 1975. Diversidad, estabilidad y madurez en ecosistemas influidos por las actividades humanas. En: van Dobben, W.H. & Lowe-McConnell, R.H. (eds.). Conceptos unificadores en ecología. Blume, Barcelona.
127. JIMÉNEZ, J.J., SALVO TIERRA, E. & SERRANO, J. (dirs.). 1999. La Estrategia del Corredor Verde del Guadamar. Conclusiones del Seminario Internacional sobre Corredores Ecológicos, Junta de Andalucía, Sevilla.
128. JONES, J.A., SWANSON, F.J., WEMPLE, B.C. & SNYDER, K.U. 2000. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. *Conservation Biology* 14:76-85.
129. JONGMAN, R.H.G. (ed.). 1996. Ecological and landscape consequences of land use change in Europe. In: Proceedings of the First ECNC Seminares on Land Use Change and its Ecological Consequences. Vol. 2. ECNC Publ. Series on Man and Nature, Tilburg.
130. JONGMAN, R.H.G., TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. (eds.). 1995. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
131. Junta de Andalucía. 1998-2003. Información socioeconómica. Instituto de Estadística, Sevilla.
132. Junta de Andalucía. 1999. Mapa de Usos del Suelo y Coberturas Vegetales a escala 1:50,000. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
133. Junta de Andalucía. 2000. Mapa topográfico de Andalucía. Provincias de Almería, Jaén y Granada. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla.
134. Junta de Andalucía. 2001. Libro rojo de los vertebrados amenazados de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
135. Junta de Andalucía. 2003. Mapas de cultivos y aprovechamientos de Andalucía. Provincias de Almería, Jaén y Granada, Sevilla.
136. Junta de Andalucía. 2004. Curso de Dirección Ambiental de Obras de Ingeniería Civil. Consejería de Obras Públicas y Transportes-Colegio de Caminos Canales y Puertos, Sevilla.
137. KING, D.A. & STEWART, W.P. 1996. Ecotourism and commodification: protecting people and places. *Biodiversity and Conservation* 5: 293-305.
138. KLEIJN, D., BERENDSE, F., SMIT, R. & GILISSEN, N. 2001. Agri-environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes. *Nature* 413: 723-725.
139. KUIPER, J. 1998. Landscape quality based upon diversity, coherence and continuity.

Referencias bibliográficas

- Landscape planning at different planning-levels in the river area of the Netherlands. *Landscape and Urban Planning* 43:91–104.
140. LACITIGNOLA, D., PETROSILLO, I., CATALDI, M. & ZURLINI, G. 2007. Modelling socio-ecological tourism-based systems for sustainability. *Ecological Modelling* 206: 191–204.
 141. LARSEN, F.W., PETERSEN, A.H., STRANGE, N., LUND, M.P. & RAHBK, C. 2008. A quantitative analysis of biodiversity and the recreational value of potential National Parks in Denmark. *Environmental Management* 41:685–695.
 142. LASSALETTE, L., GARCÍA-GÓMEZ, H., GIMENO, B.S. & ROVIRA, J.V. 2009. Agricultura-induced increase in nitrate concentrations in stream waters of a large Mediterranean catchment over 25 years (1981–2005). *Science of the Total Environment*, en prensa.
 143. LEBART, L. MORINEAU, A. & FENELON, J.P. 1982. *Traitement des Données Statistiques*. Dunod, París.
 144. LEIGH, E.G. 1965. On the relationship between productivity, biomass, diversity and stability of a community. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 53:777–783.
 145. LEUIAK, W. & ORMOND, R.F.G. 2007. Visitor perceptions and the shifting social carrying capacity of South Sinai's Coral Reefs. *Environmental Management* 39:472–489.
 146. LEWONTIN, R.C. 1969. The meaning of stability. En: *Diversity and stability in ecological systems*. Brookhaven Nat. Lab. Springfield, V. Symp.Biol. 22:13–24.
 147. LIANG, L., STOCKING, M., BROOKFIELD, H., JANSKY, L. 2001. Biodiversity conservation through agrodiversity. *Global Environmental Change* 11: 97–101.
 148. LIMBORG, G., FORMAN, J. & VINDRET, C. 2007. *WWF WorldWide Overview*. WWF, Gland.
 149. LIU, J. & ASHTON, P.S. 1998. FORMOSAIC: an individual-based spatially explicit model for simulating forest dynamics in landscape mosaics. *Ecological Modelling* 106: 177–200.
 150. LLAMAS, M.R. 1988. Conflicts Between Wetland Conservation and Groundwater Exploitation. *Environ.Geol.Water Sci.* 11(3): 241–251.
 151. LÓPEZ CADENAS, F. (coord.). 1994. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. TRAGSA-Mundi Prensa, Madrid.
 152. LÓPEZ, C. 2001. El impacto de las carreteras en las poblaciones de anfibios: Fragmentación de poblaciones y mortalidad por atropello. *Quercus* 183: 14–18.
 153. LÓPEZ, C. 2005. La señalización vial y el atropello de ungulados. *Quercus* 237: 32–36.
 154. LÓPEZ, C. 2006. Nuevas señales de tráfico para evitar el atropello de animales silvestres. *Quercus* 244: 28–35.
 155. LORENZONI, I., JORDAN, A., HULME, M., TURNER, R.K. & RIORDAN, T. 2000. A co-evolutionary approach to climate change impact assesment: Part I. Integrating socio-economic and climate change scenarios. *Global Environmental Change* 10: 57–68.
 156. LUDWIG, J.A. & REYNOLDS, J.R. 1988. *Statistical Ecology*. New York, USA: John Wiley & Sons.

157. LUNDSTRÖM-GILLIÉRON, C. & SCHLAEPFER, R. 2003. Hare abundance as an indicator for urbanisation and intensification of agriculture in Western Europe. *Ecological Modelling* 168: 283-301.
158. MACPHERSON, E., FERRER, M. & GRIMALT, J. 2001. El accidente de las minas de Aznalcóllar. *Investigación y Ciencia*, 301: 24-35.
159. MAGEAU, M.T., COSTAZA, R. & ULANOWICZ, R.E. 1995. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. *Ecosystem Health* 1: 201-213.
160. MANDER, Ü. & PALANG, H. 1994. Changes of landscape structure in Estonia during the Soviet period. *GeoJournal* 33: 45-54.
161. MARGALEF, R. 1981. *Limnología*. Omega, Barcelona.
162. MARGALEF, R. 1991. *Teoría de los sistemas ecológicos*. Pubis. Universidad de Barcelona, Barcelona.
163. MARGALEF, R. 2005. Acelerada inversión en la tipología de los sistemas epicontinentales humanizados. En: Naredo, J.M. & Guitiérrez, L. (eds.). *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra*. Fund. César Manrique & Universidad de Granada, Granada.
164. MARGALEF, R., 1969. Diversity and Stability: A practical proposal and model of interdependence, Brookhaven Nat. Lab. Springfield. V Symp. Biol. 22:25-37.
165. MARGALEF, R. 1974. *Ecología*. Omega, Barcelona.
166. MARTIN, S.R., MCCOOL, S.F., LUCAS, R.C. 1989. Wilderness campsite impacts: do managers and visitors see them the same?. *Environmental Management* 13: 623-629.
167. MARTÍN-LÓPEZ, B., MONTES, C. & BENAYAS, J. 2007. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 139: 67-82.
168. MAY, R.M. 1973. *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton Univ. Press, Princeton.
169. MCARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17: 373-387.
170. MCARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press, Princeton.
171. MCCOY, E.D. & MUSHINSKY, H.R. 1994. Effects of fragmentation on the richness of vertebrates in the Florida scrub habitat. *Ecology* 75 (2): 446-457.
172. MCNEELY, J.A. & MILLER, K.R. 1984. *National Parks, conservation and development: the role of protected areas in sustaining society*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
173. MEADOWS, D. 1996. Más allá de los límites. En: Pineda, F.D. (ed.). *Ecología y desarrollo*. Editorial Complutense, Madrid.
174. MEPPEN, T. 2000. The discursive community: evolving institutional structures for planning sustainability. *Ecological Economics* 34:47-61.

Referencias bibliográficas

175. Ministerio de Medio Ambiente. 2003. Base de datos de los vertebrados terrestres. Madrid.
176. Ministerio de Obras Públicas, 1968, Recomendaciones para el proyecto de enlaces: Carreteras, Madrid,
177. MOLINA HERRERA, J., FERNÁNDEZ AGUILERA, F.J. & UCLÉS AGUILERA, D. 1993. Informe económico de la provincia de Almería 1992. Cámara de Comercio, Industria y Navegación. Almería.
178. MONTALVO, J. 1998. Conectividad. Ecosistemas 24: 38-39.
179. MONTALVO, J., RAMÍREZ, L., DE PABLO, C.T.L. & PINEDA, F.D. 1993. Impact Minimization through Environmentally-based Site Selection. Multivariate approach. J. of Environmental Management 38: 13-25.
180. MONTES, C. BORJA, F., BRAVO, M.A. & MOREIRA, J.M. 1998. Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
181. MORILLA ABAD, I. 1996. Guía Metodológica y Práctica para la realización de Proyectos. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
182. MOUILLOT, F., RATTE, J.-P., JOFFRE, R., MORENO, J.M. & RAMBAL, S. 2003. Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a Mediterranean landscape (Corsica, France). Landscape Ecology 18: 665-674.
183. MÜLLER, F. 2005. Indicating ecosystem and landscape organisation. Ecological Indicators 5: 280-294.
184. MÚGICA, M. & DE LUCIO, J.V. 1996. The role of on-site experience on landscape preferences. A case study at Doñana National Park (Spain). Journal of Environmental Management 47:229-239.
185. NAEEM, S., THOMPSON, L.J., LAWLER, S.P., LAWTON, J.H. & WOODFIN, R.M. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. Nature 368: 734-737.
186. NAGENDRA, H., MUNROE, D.K. & SOUTHWORTH, J. 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the análisis of land use/land cover change. Agriculture, Ecosystems and Environment 101: 111-115.
187. NASSAUER, J.I. 1992. The appearance of ecological systems as a matter of policy. Landscape Ecology 6:239-250.
188. NAVEH, Z. (1995) Interactions of landscape and culture. Landscape and Urban Planning, 32: 43-54.
189. NEUMANN, J. VON & MORGENSTERN, O. 1953. Theory of games and economic behaviour. Princeton University Press, Princeton, N.J.
190. NIKODEMUS, O., BELL, S., GRINE, I. & LIEPINS, I. 2005. The impact of economic, social and politic factors on the landscape structure of the Vidzeme Uplands in Latvia. Landscape and Urban Planning 70: 57-67.

191. NORGAARD, R.B. 1984. Coevolutionary development potential. *Land Economics* 60: 160-173.
192. NOWICKI, P., BENNET, G. & MIDDLETON, D. (eds.). 1996. Perspectives on ecological networks. ECNC. Series Man and Nature Vol.1, Arnhem-Tilburg.
193. ODUM, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262-270.
194. Orden de 27 de diciembre. 1999. Norma 3.1-IC. Trazado. Instrucción de carreteras. Colegio De Ing. C.C. y Puertos, Madrid.
195. ORIAN, G.H. 1975. Diversidad, estabilidad y madurez en los ecosistemas naturales. En: van Dobben, W.H. & Lowe-McConnell, R.H. (eds.). Conceptos unificadores en ecología. Blume, Barcelona.
196. ORTEGA ALBA, F. 1991. Andalucía. El medio Físico. En: Bosque Maurel, J. & Vilá Valentí, J. (Dirs.). Geografía de España. Vol. 8. Planeta, Barcelona.
197. PACINI, C., WOSSINK, A., GIESEN, G. & HUIRNE, R.. 2004. Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102: 349-364.
198. PAINE, R.T. 1974. Intertidal community structure. *Oecologia* 15: 93-120.
199. PALANG, H., HELMFRID, S., ANTROP, M. & ALUMÄE, H. 2005. Rural landscapes: past processes and future strategies. *Landscape and Urban Planning* 70: 3-8.
200. PAUSAS, J.G., CARRERAS, J., FERRÉ, A. & FONT, X. 2003. Coarse-scale land species richness in relation to environmental heterogeneity. *Journal of Vegetation Science* 14: 661-668.
201. PÉREZ CORONA, E., FERNÁNDEZ SAÑUDO, P. & DE LUCIO, J.V. 2002. Espacios naturales protegidos y conservación de la diversidad biológica. En: Pineda, F.D., De Miguel, J.M., Casado, M.A. & Montalvo, J. (Coords.). La Diversidad biológica de España. Cited, La Diversidad Biológica de Iberoamérica, Vol. IV. Prentice Hall, Madrid.
202. PETROSILLO, I., ZURLINI, G., CORLIANO, M.E., ZACCARELLI, N. & DADAZO, M. 2007. Tourist perception of recreational environment and management in a marine protected area. *Landscape and Urban Planning* 79:29-37.
203. PETROSILLO, I., ZURLINI, G., GRATO, E. & ZACCARELLI, N. 2006. Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems. *Ecological Indicators* 6: 104-113.
204. PFADENHAUER, J. & GROOTJANS, A. 1999. Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Applied Vegetation Science* 2: 95-106.
205. PHILLIPS, A. 1998. The nature of cultural landscapes-a nature conservation perspective. *Landscape research* 23: 21-38.
206. PINEDA, F.D., DE MIGUEL, J.M. CASADO, M.A., & MONTALVO, J. (eds.). 2002a. La Diversidad Biológica de España. La Diversidad Biológica de Iberoamérica. Halffter, G. (coord.). Vol. IV. Cited. Prentice Hall, Madrid.
207. PINEDA, F.D. & BARTUREN, R. 1988. Estudio ecológico de la Ría de Guernica-Munda-

Referencias bibliográficas

- ka (Vizcaya). En: Univ. Pais Vasco: Biología Ambiental. Vol. I. Euskal Mundu-Biltzarra, Bilbao: 303-312.
208. PINEDA, F.D. & MONTALVO, J. 1995. Dehesa systems in the western mediterranean. Biological diversity in traditional land use systems. En: P. Halladay & D.A. Gilmour (eds.). *Conserving Biodiversity Outside Protected Areas. The Role of Traditional Agro-ecosystems*. Uicn, Forest Conservation Programme, Gland. 107-122.
209. PINEDA, F.D. & SCHMITZ, M.F. 2003. Tramas espaciales del paisaje. Conceptos, aplicabilidad y temas urgentes para la planificación territorial. En: M.R. García Mora (coord.), *Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la Cuenca Mediterránea*. Publicaciones de la Junta de Andalucía: 9-28.
210. PINEDA, F.D. (dir.). 1984. Estudio ecológico del Valle y Estuario de la Ría de Mundaca-Guernica (Vizcaya). Sociedad de Ciencias Aranzadi, San Sebastián. 3 vols [1982-84]. 1.209 pp, varios mapas. [Documento base para la creación de la Reserva de la Biosfera de Urdabai, a propuesta del Gobierno Vasco y Programa MaB español. UNESCO, París, 8-12-1984.].
211. PINEDA, F.D. 1991. Conclusions of the international symposium on biological diversity of Madrid. *Journal of Vegetation Science* 1: 711-712.
212. PINEDA, F.D. 2001. Intensification, rural abandonment and nature conservation in Spain. En: Bunce, R.G.H., Pérez-Soba, M., Elbersen, B., Prados, M.J., Andersen, E., Vell, M. & Smeets, P.J.M. (eds.). *Examples of european agri-environment schemes and livestock systems and their influence on cultural landscapes*. Alterra Alpen, Wageningen.
213. PINEDA, F.D. 2003a. Paisaje y Territorio. En: García-Orcóyen, C. (Coord.). *Mediterráneo y Medio Ambiente. Mediterráneo Económico*. Vol. 4. Instituto de Estudios Cajamar, Almería.
214. PINEDA, F.D. et al. (Grupo de análisis ambiental. Depto. de Ecología, Univ. de Sevilla). 1974. Terrestrial ecosystems adjacent to large reservoirs. Ecological survey and impact diagnosis. *Internat. Comm. on Large Dams, Icold*. Madrid. Monografías de la Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid, 98 pp.
215. PINEDA, F.D., CASADO, M.A., PECO, B., OLMEDA, C. & LEVASSOR, C. 1987. Temporal changes in therophytic communities across the boundary of disturbeb-intact ecosystem. *Vegetatio* 71: 333-339.
216. PINEDA, F.D., MONTALVO, J., CASADO, M.A. DE MIGUEL, J.M. (eds). 1991. *Diversidad Biológica/Biological Diversity. Scope*, WWF-Adena, F. Areces, Madrid.
217. PINEDA, F.D., NICOLAS, J.P., RUIZ, M., PECO, B. & BERNÁLDEZ, F.G. 1981. Succession, diversité et amplitude de niche dans les pâtures du centre de la péninsule ibérique. *Vegetatio* 47: 267-277.
218. PINEDA, F.D., SCHMITZ, M.F. & HERNÁNDEZ, S. 2002b. Interacciones entre infraestructuras y conectividad natural del paisaje. En: I Congr, Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Col. Ing. C.C. y Puertos, Madrid.
219. PINEDA, F.D., SCHMITZ, M.F., DE ARANZÁBAL, I. & ÁLVAREZ, M.C. 2006. Conectividad

- territorial. Procesos horizontales del paisaje e interferencias del transporte humano. *Carrteras* 20: 3-18.
220. PIORR, H.P. 2003. Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 17-33.
221. POLYNOV, B.B. 1956. *Izbr trudy, Izd,-vo AN. Sssr, Moscov.*
222. PRISKIN, J. 2003. Tourist perceptions of degradation caused by coastal nature-based recreation. *Environmental Management* 32: 189-204.
223. RAPOPORT, A. 1970. *N-Person Game Theory.* University of Michigan Press Ann Arbor.
224. RAPPORT, D.J. & REGIER, H.A. 1995. Disturbance and stress effects on ecological systems. En: Patten, B.C. & Jorgenson, S.E. (eds.). *Complex ecology: the part-whole in ecosystems.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
225. RAPPORT, D.J. & TURNER, J.E. 1977. Economic models in ecology. *Science* 195: 367-373.
226. RAPPORT, D.J. 1995. Ecosystem health: more than a metaphor? *Environm. Values* 4: 287-309.
227. RAPPORT, D.J. 1998. Defining Ecosystem Health. En: Rapport, D., Costanza, R., Epstein, P.R., Gaudet, C. & Levins, R. (eds.). *Ecosystem Health.* Blackwell, London.
228. RAPPORT, D.J., REGIER, H.A. & HUTCHINSON, T.C. 1985. Ecosystem behaviour under stress. *American Naturalist* 125: 617-640.
229. RESCIA, A.J., SCHMITZ, M.F., MARTÍN DE AGAR, P., DE PABLO, C.L., ATAURI, J.A. & PINEDA, F.D. 1994. Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in Northern Spain. *J. of Vegetation Science* 5: 505-516.
230. REY BENAYAS, J.M., BERNÁLDEZ, F.G., LEVASSOR, C. & PECO, B. 1990. Vegetation of groundwater discharge sites in the Douro basin, central Spain. *Journal of Vegetation Science* 1: 461-466.
231. RODRÍGUEZ PASCUAL, M. 2001. *La Trashumancia.* Edilesa, León.
232. RODRÍGUEZ, A.J., DÍAZ, P., RUIZ LABOURDETTE, D., PINEDA, F.D., SCHMITZ, M.F. & SANTANA, A. 2010. Selection, design and dissemination of Fuerteventura's projected tourism image (Canary Isles). En: S. Favro & C.A. Brebbia (eds.). *Island Sustainability.* Wit Press. Southampton: 13-24.
233. ROMERO-CALCERRADA, R. & PERRY, G.L.W. 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA «Encinares del río Alberche y Cofio», Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning* 66: 217-232.
234. ROOVERS, P., HERMY, M. & GULINCK, H. 2002. Visitor profile, perceptions and expectations in forests from a gradient of increasing urbanisation in central Belgium. *Landscape and Urban Planning* 59: 129-145.
235. ROSELL, C. & VELASCO, J.M. 1999. Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna. Documents dels Quaderns de medi ambient. Núm. 4. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. Barcelona.

Referencias bibliográficas

236. ROSELL, C., ÁLVAREZ, G., CAHIL, S., CAMPENY, R., RODRÍGUEZ, A. & SÉILER, A. 2003. COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Naturaleza y Parques Nacionales, Serie técnica. Dirección Gral. De Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
237. ROTHERMEL, R.C. 1972. A mathematical model for fire spread predictions in Wildland fuels. Usda Forest Service, Int. USA.
238. ROTHERMEL, R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range forest fires. Usda Forest Service, Int. USA.
239. ROUNSEVELL, M.D.A., REGINSTER, I., ARAÚJO, M.B., CARTER, T.R., DENDONCKER, N., EWERT, F., HOUSE, J.I., KANKAANPÄÄ, S., LEEMANS, R., METZGER, M.J., SCHMIT, C., SMITH, P. & TUCK, G., 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114: 57-68.
240. RUITER, P.C. DE, WOLTERS V., MOORE, J.C. & WINEMILLER, K.O. 2005. Food Web Ecology: Playing Jenga and Beyond. *Science* 309: 8-10.
241. RUIZ DE LA TORRE, J. (dir.). 1990-2002. Mapa forestal de España, Provincias de Almería, Jaén y Granada. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
242. RUIZ LABOURDETTE, D., DÍAZ, P., RODRÍGUEZ, A.J., SANTANA, A., SCHMITZ, M.F. & PINEDA, F.D. 2010. Scales and scenarios of change in the anthropology-landscape relationship: models of cultural tourism in Fuerteventura (Canary Isles). In: S. Favro & C.A. Brebbia (eds.). *Island Sustainability*. Wit Press. Southampton, Boston: 51-63.
243. RUIZ, M. & GROOME, H. 1986. Spanish agriculture in the ECC: A process of marginalization and ecological disaster?. *FFSPN Recontres Internationales de Toulouse. Agriculture-Environment*: 456-461.
244. SANCHO ROYO, F. 1974. Actitudes ante el paisaje. Estudio experimental. *Anales de la Universidad Hispalense, Serie Ciencias* 19. Sevilla, 295 pp.
245. SANCHO ROYO, F., ALÉS, R.F., BERNÁLDEZ, F.G. & RÓDENAS, M. 1981. Sistema IRAMS de evaluación de Alternativas de Uso en la Ordenación del Territorio. Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla.
246. SCHMITZ, M.F., DE ARANZABAL, I. & PINEDA, F.D. 2007a. Spatial análisis of visitors preferentes in the outdoor recreational niche of Mediterranean cultural landscapes. *Environmental Conservation* 34: 300-312.
247. SCHMITZ, M.F., DE ARANZABAL, I., AGUILERA, P., RESCIA, A. & PINEDA, F.D. 2003. Relationship between landscape typology and socioeconomic structure. Scenarios of change in Spanish cultural landscapes. *Ecological Modelling* 168: 343-356.
248. SCHMITZ, M.F., DE ARANZABAL, I., RESCIA, A. & PINEDA, F.D. 2001. Implications of socioeconomic changes in Mediterranean cultural landscapes. En: Mander, Ü., Printsmann, A. & Palang, H. (eds.). *Development of European Landscapes*. Institute of Geography University of Tartu, Tartu.
249. SCHMITZ, M.F., FERNÁNDEZ-SAÑUDO, P., DE ARANZABAL, I. & PINEDA, F.D. 2004. Visitor's valuation of natural and cultural landscapes: space-preferences coincidence analysis. En: C.A. Brebbia & F. D. Pineda (eds.). *Sustainable Tourism*. WIT press, Southampton: 307-317.

250. SCHMITZ, M.F., PINEDA, F.D., CASTRO, H., DE ARANZABAL, I. & AGUILERA, P. 2005. Cultural landscape and socioeconomic structure. Environmental value and demand for tourism in a Mediterranean territory. Junta de Andalucía, Sevilla.
251. SCHMITZ, M.F., SÁNCHEZ, I.A. & DE ARANZABAL, I. 2007b. Influence of management regimes of adjacent land uses on the woody plant richness of hedgerows in Spanish cultural landscapes. *Biological Conservation* 135:542-554.
252. SCHUETT, M.A. & PIERSKALLA, C.D. 2007. Managing for desired experiences and site preferences: The case of fee-fishing anglers. *Environmental Management* 39:164-177.
253. SCHWARTZ, A. 1974. *Calculus and Analytic Geometry*. Holt, Rinehart and Winston, New York.
254. SEIT (Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes). 1999. *Marco Director de Carreteras. Cartografía Básica Medioambiental*. Ministerio de Fomento, Madrid.
255. SIBSON, R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation. *Interpreting Multivariate Data*. Barnett, V. (ed.). John Wiley and Sons, New York.
256. SIMA (Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía). 1998. *Anuario estadístico*. Instituto de Estadística de Andalucía. Junta de Andalucía, Sevilla.
257. SMITH, R.L. & SMITH, T.M. 2001. *Ecología*. Pearson Educación. S.A., Madrid.
258. SMITH, W.H.F. & WESSEL, P. 1990. Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophysics* 55: 293-305.
259. SMITHSON, P., ADDISON, K. & ATKINSON, K. 2002. *Fundamentals of the Physical Environment*. Third Ed. Routledge, London.
260. SOCHAVA, V.B. 1963. Opriedieleniie niekatorykh ponyatii i terminov fizicheskoi gheografii. *Doklady In-ta gheografii Sibiri i Dal'nego Vostoka*. Vyp, 3.
261. SOLNTSIEV, V.N. 1974. O niekotorikh fundamentalnykh svoistakh gheosistemnoi struktury. En: *Methody kompleksnykh issledovaniy gheosistem*. Akademya Nauk SSSR. Irkutsk.
262. SOULÉ, M.E. 1991. Conservation: tactics for a constant crisis. *Science* 253: 744-750.
263. SPAD.N. 2000. *Système portable pour l'analyse des données*. Ver. 4.5. Cisia Montreuil Cedex. France.
264. STANNERS, D. & BOURDEAU, P. (eds.). 1995. *Europe's Environment. The Dobbris Assessment*. European Environment Agency, Copenhagen. <http://www.eea.eu.int>
265. STERLING, A. 1996. *Los sotos, refugios de vida silvestre*. Publs. Ministerio de Agricultura, Madrid.
266. SURFER. 2002. *Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers*. Ver. 8. Golden Software, Inc., USA.
267. SUTHERLAND, W.J. 2002. Restoring a sustainable countryside. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 148-150.

Referencias bibliográficas

268. TENHUNEN, J.D., LENZ, R. & HANTSCH, R. (eds.). 2001. *Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe*, Springer, Berlin.
269. TERRADAS, J. 1979. *Ecología y educación ambiental*. Omega, Barcelona.
270. THEOBALD, D.M. 2004. Placing exurban land-use change in a human modification framework. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 139-144.
271. TRESS, B. & TRESS, G. 2001. Capitalising on multiplicity: a transdisciplinary systems approach to landscape research. *Landscape and Urban Planning* 57:143-157.
272. TURNER II, B.L., GÓMEZ-SAL, A., BERNÁLDEZ, F.G., & DI CASTRI, F. 1995. *Global Land Use Change*. CSIC, Madrid.
273. TURNER, R.K., LORENZONI, I., BEAUMONT, N., BATEMAN, I.J., LANGFORD, I.H. & McDONALD, A.L. 1998. Coastal Management for Sustainable Development: analysing environmental and socio-economic changes on the UK coast. *The Geographical Journal* 164: 269-281.
274. UICN. 1980. *World conservation strategy*. International Union for Conservation of Nature and Natural resources. Uicn, Gland.
275. UYARRA, M.C., CÔTÉ, I.M., GILL, J.A., TINCH, R.R.T., VINER, D. & WATKINSOSN, A.R. 2005. Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environmental Conservation* 32 (1): 11-19.
276. VAN DER MAAREL, E. & WESTHOFF, V. 1964. The vegetation of the dunes near Oostvoorne. *Wentia* 12: 1-61.
277. VAN DER ZANDE, A.N., TER KEURS, W.J. & VAN DER WEIJDE, W.J. 1980. The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat – evidence of a long-distance effect. *Biological Conservation* 18: 299-321.
278. VAN DER ZEE, D. 1990. The complex relationship between landscape and recreation. *Landscape Ecology* 4: 225-236.
279. VAN EETVELDE V. & ANTROP M. 2009. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration applied on the federal state of Belgium. *Landscape and Urban Planning* 91:160-170.
280. VAN NES, E.H. & SCHEFFER, M. 2005. A strategy to improve the contribution of complex simulation models to ecological theory. *Ecological Modelling* 185: 153-164.
281. VARELA, C. 2000. The common agricultural policy and the environment: conceptual framework and empirical evidence in the Spanish agricultura. In: Antle, J., Lekakis, J., Zarnias, G. (eds.): *European Agriculture at the Crossroads: Competition and Sustainability*. Edward Elgar, London.
282. VENTURELLI, R.C. & GALLI, A. 2006. Integrated indicators in environmental planning: Methodological considerations and applications. *Ecological Indicators* 6: 228-237.
283. VERBURG, P.H., SCHULP, C.J.E., WITTE, N. & VELDKAMP, A., 2006. Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 114: 39-56.

284. VOLK, M. & STEINHARDT, U. 2002. Models in landscape ecology. In: O. Bastian & U. Steinhardt (eds.): Development and Perspectives of Landscape Ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 295-306.
285. WARD, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58: 236.
286. WASCHER, D.M. (ed.). 1999. Landscapes and Sustainability. European Workshop on Landscape Assessment as a Policy Tool. ECNC, Tilburg.
287. WASCHER, D.M. (ed.). 2000. The Face of Europe. ECNC, Tilburg.
288. WATSON, A., GLASPELL, B., CHRISTENSEN, N., LACHAPELLE, P., SAHANATIEN, V. & GERTSCH, F. 2007. Giving voice to wild lands visitors: Selecting indicators to protect and sustain experiences in the Eastern Arctic of Nunavut. Environmental Management 40:880-888.
289. WEMPLE, B.C., SWANSON, F.J. & JONES, J.A. 2001. Forest roads and geomorphic process interactions. Cascade Range, Oregon. Earth Surface Processes and Landforms 26: 191-204.
290. WESTHOEK, H.J., VAN DER BERG, M. & BAKKES, J. 2006. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. Agriculture, Ecosystem and Environment 114: 7-20.
291. WHITE, I.D., MOTTERSHEAD, D.N. & HARRISON, S.J. 1984. Environmental Systems. Unwin Hyman, London.
292. WINTER, C. & LOCKWOOD, M. 2005. A model for measuring natural area values and park preferences. Environmental Conservation 32: 270-278.
293. World Ecotourism Summit. 2002. Québec Declaration on Ecotourism. Québec, Canada. [www document]. <http://www.world-tourism.org/sustainable/IYE/quebec/anglais/declaration.html>
294. WPC. 2005. Tourism as a vehicle for conservation and support of protected areas. WPC Recommendation 12. In: Jones, T. (ed). Benefits Beyond Boundaries. Vth IUCN World Parks. [<http://www.iucn.org/themes/wcpa/wpc2003/pdfs/english/Proceedings/recommendation.pdf>]. Durban Congress, South Africa: 165-167.
295. WWF. 1995. Ecotourism: conservation tool or threat? Conservation Issues 2: 1-10.
296. YOUNG, J., WATT, A., NOWICKI, P., ALARD, D., CLITHEROW, J., HENLE, K., JOHNSON, R., LACZKO, E., MCCracken, D., MATOUCH, S., NIEMELA, J. & RICHARDS, C. 2005. Towards sustainable land use: identifying and managing the conflicts between human activities and biodiversity conservation in Europe. Biodiversity and Conservation 14: 1641-1661.

